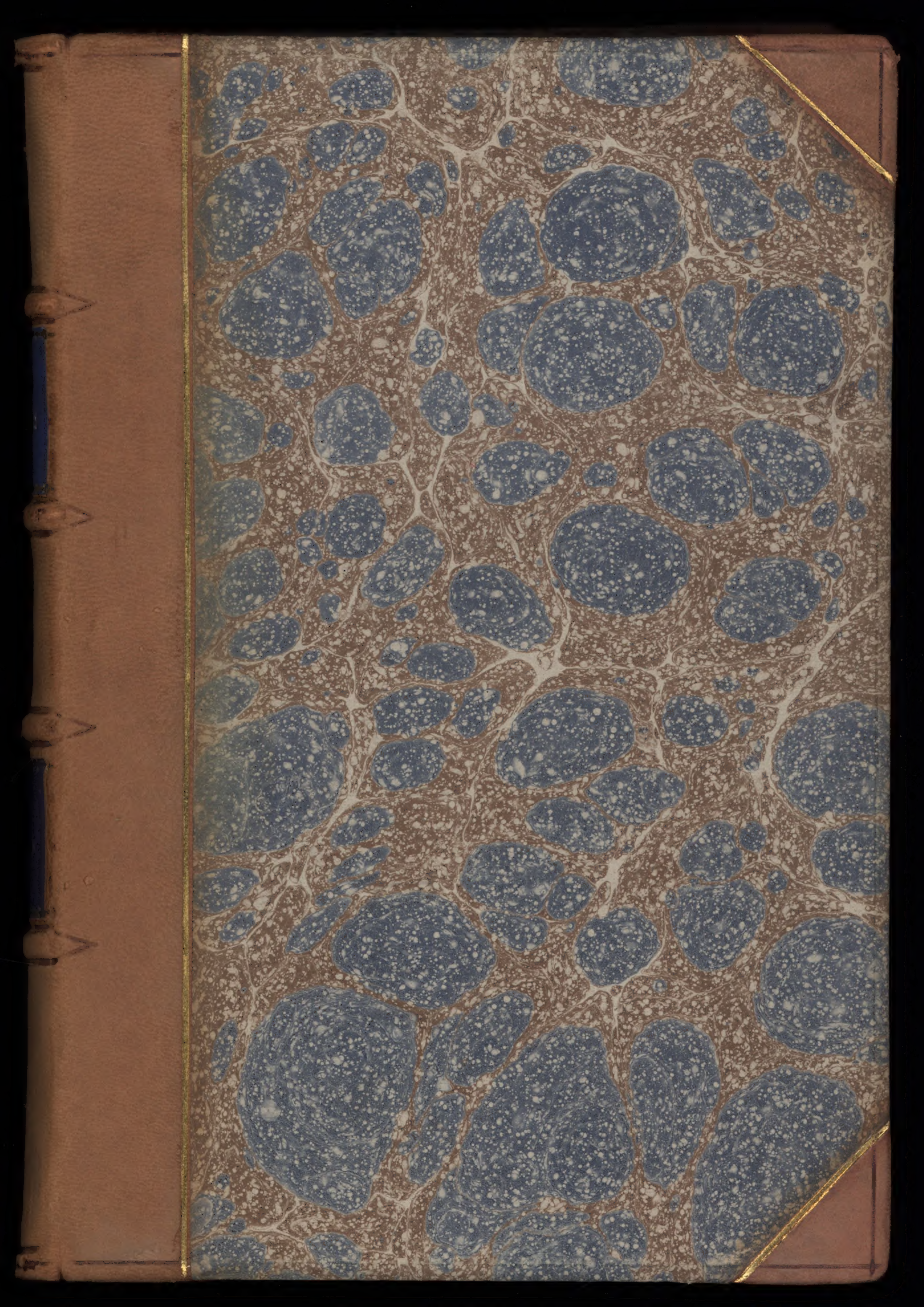
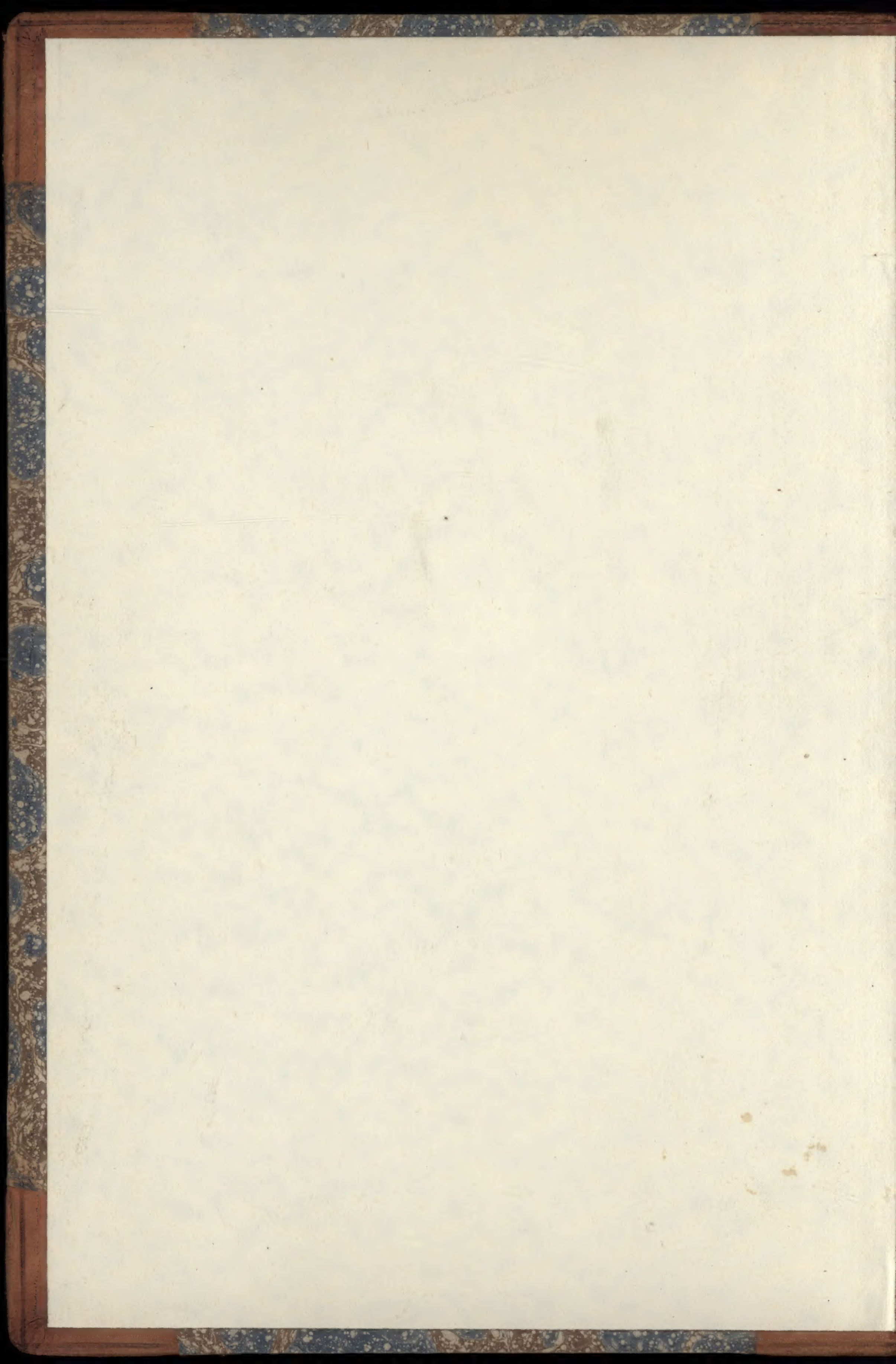
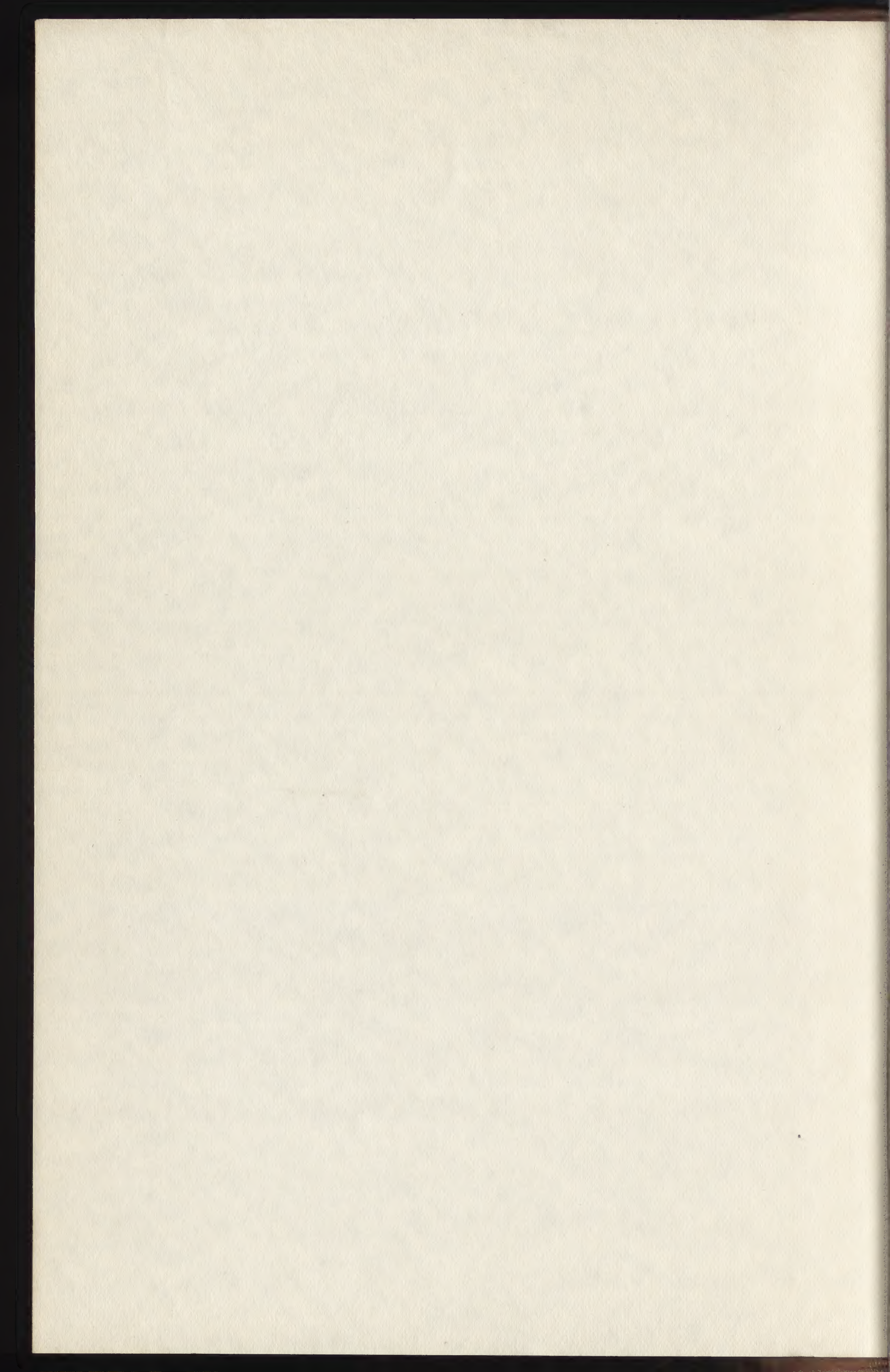
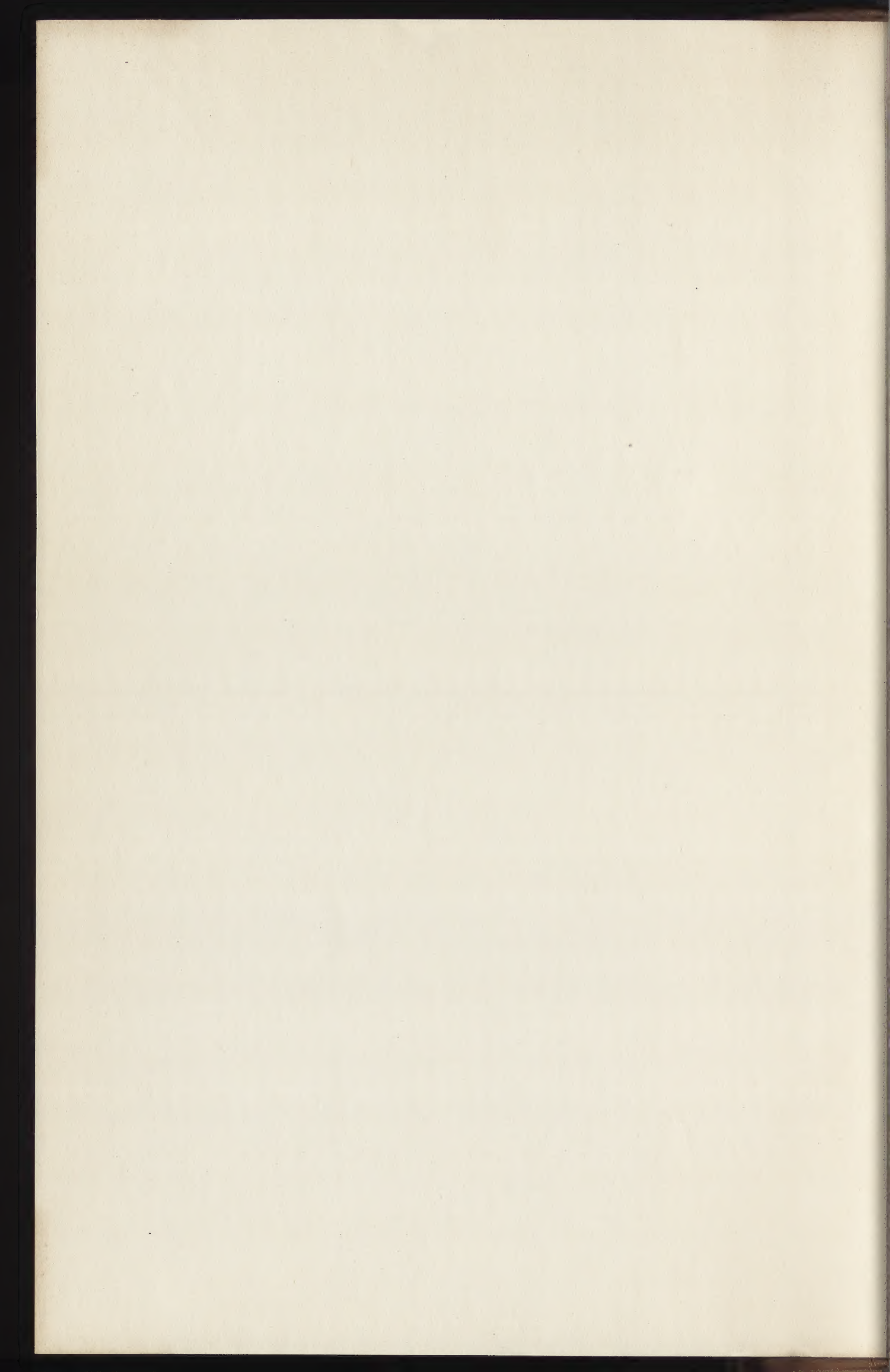


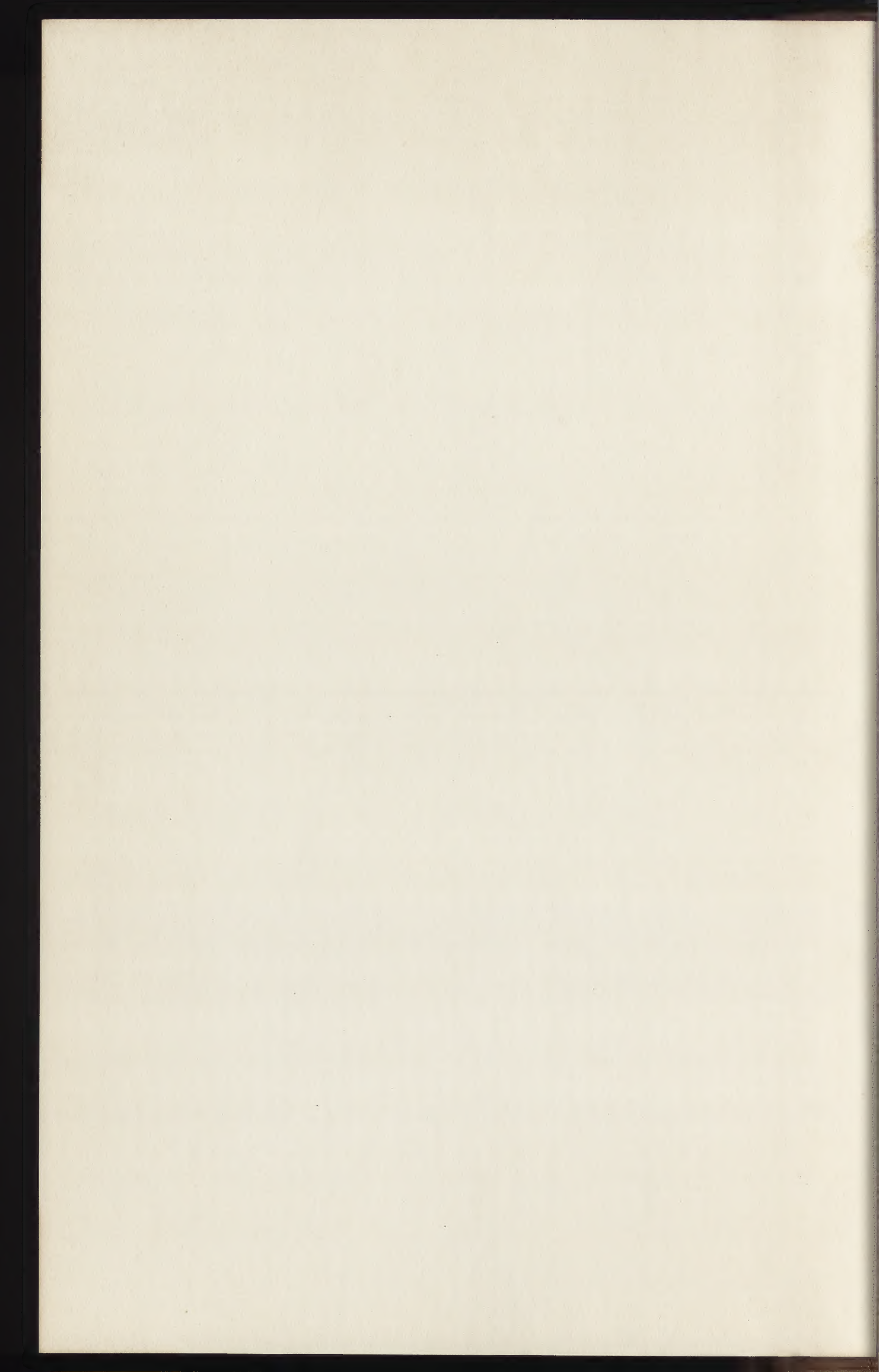






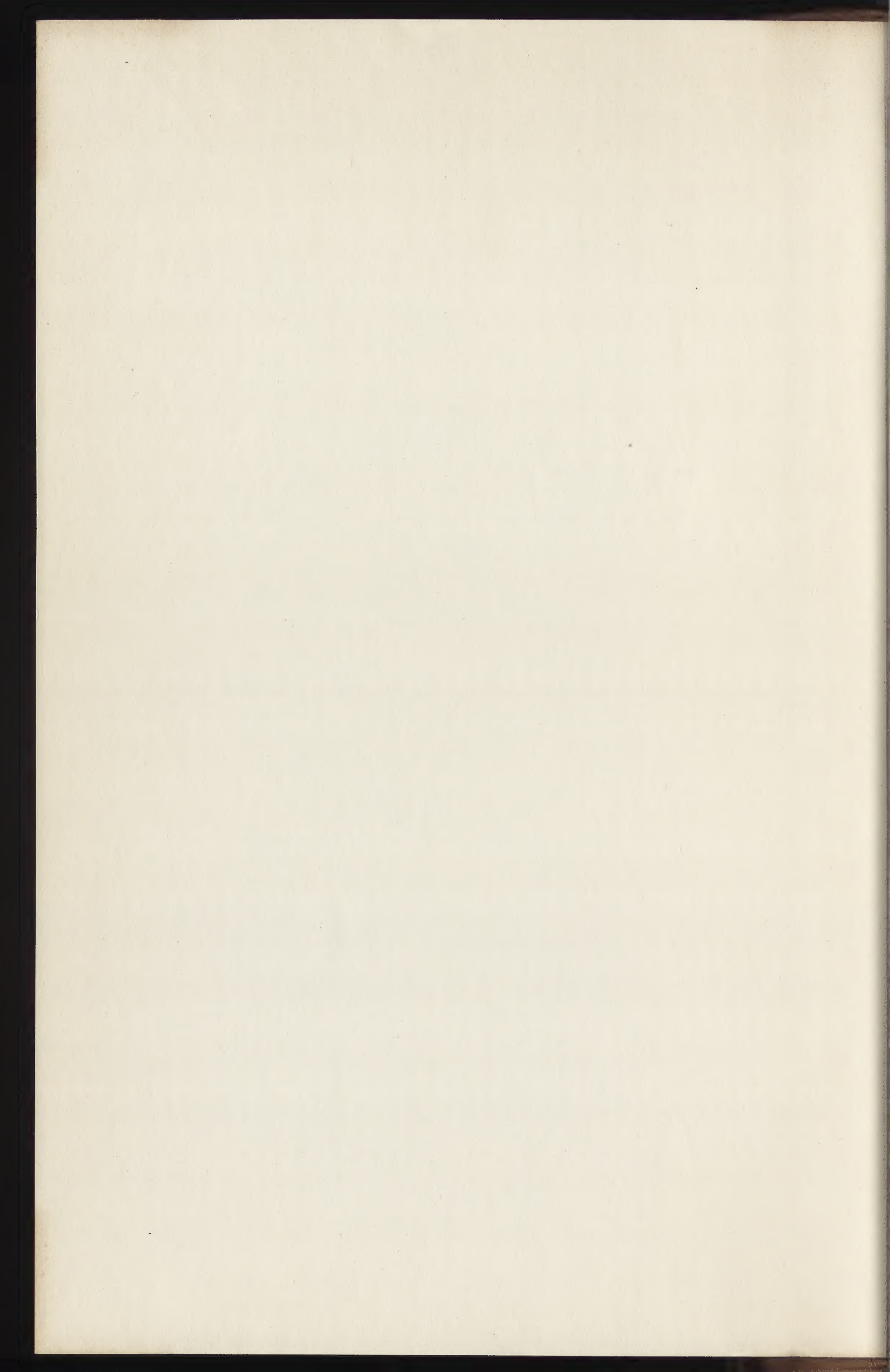






HERMANN VON HELMHOLTZ

ZWEITER BAND







Nach dem Portrait von Franz von Lenbach 1884.
Im Besitze von Frau Ellen von Siemens, geb. von Helmholtz.

HERMANN VON HELMHOLTZ

VON

LEO KOENIGSBERGER

ZWEITER BAND

MIT ZWEI BILDNISSEN

BRAUNSCHWEIG

DRUCK UND VERLAG VON FRIEDRICH VIEWEG UND SOHN

1903

VORWORT.

Auch bei der weiteren Bearbeitung der Biographie von Helmholtz wurde ich von dessen Angehörigen und Freunden durch Zuschriften und Ueberlassung von Briefen in der entgegenkommendsten Weise unterstützt, und ich freue mich, zugleich der preussischen und badischen Unterrichtsverwaltung, dem Directorium des Reichsamts des Innern sowie dem Präsidium der Physikalischen Reichsanstalt für die mir bereitwilligst gewährte Einsichtnahme in die bezüglichen Acten hier meinen Dank aussprechen zu dürfen.

Heidelberg, im Februar 1903.

Leo Koenigsberger.



INHALTS-ÜBERSICHT

UND

VERZEICHNISS DER WISSENSCHAFTLICHEN ARBEITEN VON H. von HELMHOLTZ.

Zweiter Band.

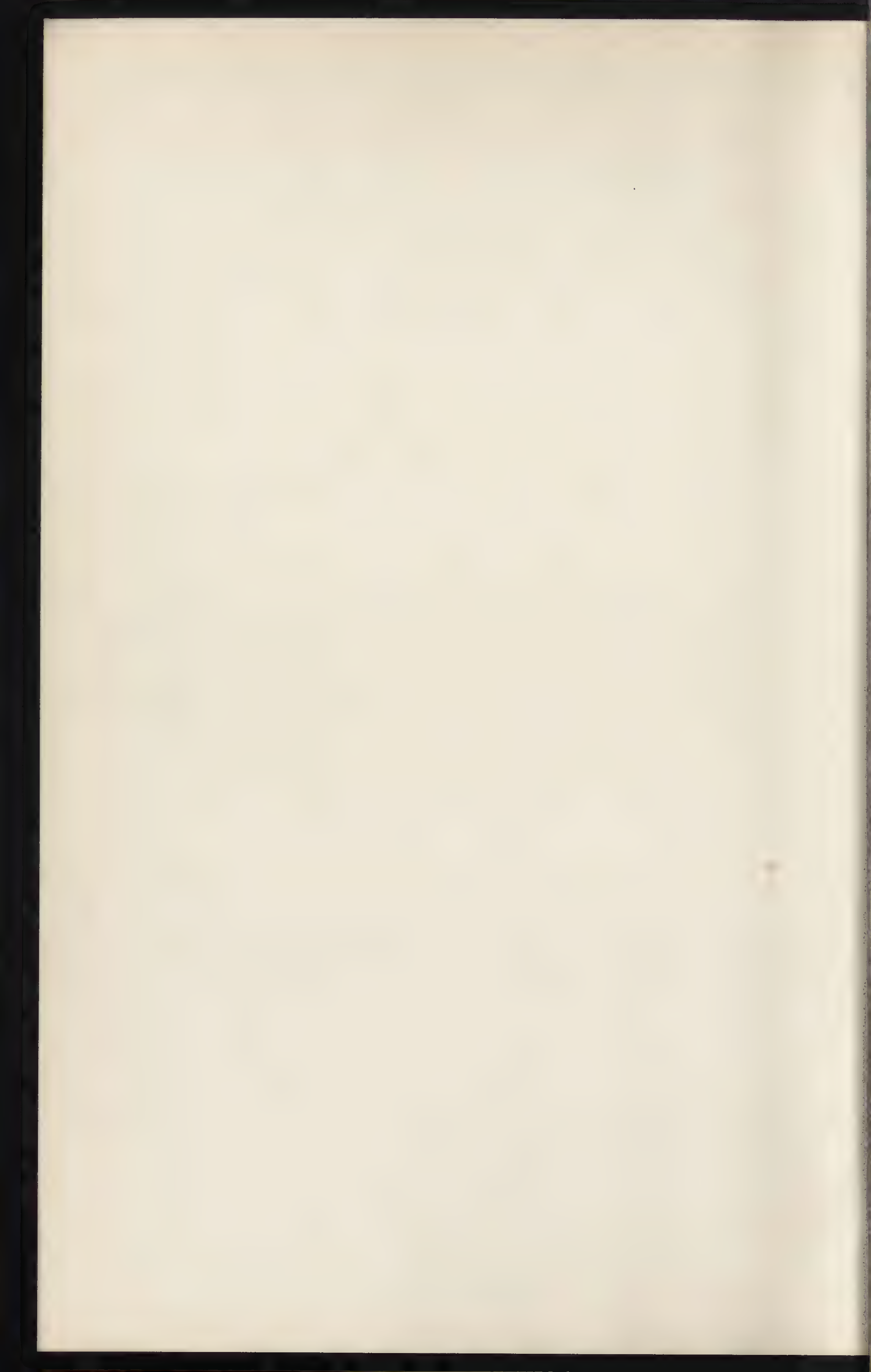
VERZEICHNISS

DER

BILDNISSE VON HERMANN VON HELMHOLTZ

AUSGEFÜHRT IN ZWEI HELIOGRAVUREN

BEI MEISENBACH, RIFFARTH & CO., BERLIN-SCHÖNEBERG.



Helmholtz als Professor der Physiologie in Heidelberg von Michaelis 1858 bis Ostern 1871.

(Fortsetzung.)

Von einer kurzen Pfingstreise mit seiner jungen Frau nach Heidelberg zurückgekehrt,

> „mit tiefer Rührung sprach sie noch im letzten Jahre ihres Lebens von der ersten Fahrt, die sie mit ihrem Manne, dessen Hoheit und Grösse sie ahnend empfand, nach Eberstein Schloss damals von Baden aus gemacht hatte“,

findet er ein warmes Glückwunschschreiben seines alten Freundes Ludwig vor, der zugleich sein „grenzenloses Staunen über die an Bedeutung immer grossartiger werdenden Forschungen“ von Helmholtz ausspricht, aber von diesem die bescheidene Antwort erhält:

„Ich wollte aber, Du dächtest nicht so übermässig gross von meinen und so klein von Deinen Arbeiten. Jeder hat seine besonderen Fähigkeiten, und ich selbst weiss sehr genau, dass ich selbst unfähig gewesen wäre, die Abhängigkeit der Speichelsecretion von den Nerven zu entdecken oder andere Deiner Arbeiten auszuführen.“

Die neuen Verhältnisse lassen uns Helmholtz sehr bald in völlig veränderter Beleuchtung erscheinen; die düsteren Schatten, welche Jahre hindurch seinem Leben eine trübe Färbung gegeben, sind verflogen, im neu entstehenden Heim

fallen Dank der alle Welt bezaubernden Gattin funkelnde farbige Lichter auf Herz und Gemüth. Hatte der grosse Denker sich bisher zur ersten Autorität in der wissenschaftlichen Welt emporgearbeitet, alle Gelehrtenkreise mit Staunen und Bewunderung erfüllt, durch seine optischen und akustischen Arbeiten die Aufmerksamkeit und Anerkennung auch der Welt der Künstler auf sich gelenkt, so gelang es ihm jetzt, in seine Kreise immer weitere Schichten der gebildeten Welt hineinzuziehen. Wie er schon in Königsberg und Bonn durch öffentliche Vorträge seine grossen und umfassenden wissenschaftlichen Anschauungen in die weitere wissenschaftliche Welt hineinzutragen begonnen, so wurde jetzt sein Haus zum Brennpunkt wissenschaftlicher und künstlerischer Bestrebungen, und selbst bei den naturgemäss nicht ausgedehnten Heidelberger Verhältnissen fühlte man in diesem Hause ein Leben pulsiren, wie es sonst nur grosse Verhältnisse zu entwickeln gestatten.

„Durch Reisen nach England“, schreibt seine Schwägerin Freifrau v. Schmidt-Zabiérow, die ältere Tochter Robert v. Mohl's, „wie durch wiederholten langen Aufenthalt bei unseren Verwandten in Paris, in der durchgeistigten Atmosphäre des Salons unserer Tante in der Rue du Bac 120, dem Mittelpunkt vornehmer Geselligkeit, gelangte auch die glänzende Begabung meiner Schwester zur vollen Entfaltung, wurde ihr der Verkehr mit bedeutenden Menschen zum Bedürfniss. Reichliche Gelegenheit zur Anknüpfung fördernder Beziehungen ergab sich für meine Schwester nicht nur im elterlichen Hause, sondern in vielen damals in Heidelberg lebenden geistig und gesellschaftlich hochstehenden Freunden fremder Nationen. Erweiterung der Lebensanschauungen, gesteigerte Lebensbedürfnisse waren die nothwendige Folge dieser internationalen Verhältnisse. Die englische und französische Sprache beherrschte meine Schwester so vollständig wie ihre Muttersprache, jegliche Beschränkung auf abgegrenzte gesellschaftliche Kreise war ihr von früher

Jugend an unerträglich. Ihr frisches fröhliches Naturell, ihr Humor, ihr rasches Erfassen von Charakteren und Dingen mögen in ihrer Unmittelbarkeit beglückend auf Helmholtz gewirkt haben."

Aber trotz der vielen und ausgebreiteten socialen Beziehungen spielte sich dieses durch seine Mannigfaltigkeit und geistige Vornehmheit wahrhaft wohlthuende Leben meist in seinem eigenen Hause ab, und gerade dadurch gelang es auch wiederum seiner durch Anmuth und Geist hervorragenden Frau, die Geselligkeit auf einem ungewöhnlich hohen Niveau zu erhalten und ihr stets die Grenzen zu ziehen, die mit einem unentwegten Denken und Forschen ihres Mannes verträglich waren. In seinem Arbeitszimmer und seiner Bibliothek begann Ordnung und Uebersicht zu herrschen Dank der Fürsorge seiner Frau, welche noch wenige Monate vorher als Braut ihm schrieb:

„Was werde ich noch an mir arbeiten müssen, um eine wirklich brauchbare Frau zu werden, die ihr Temperament zu angemessenem Nachdenken bringt. Verliere nur die Geduld nicht, Hermann, ich bin ohnedies leicht zu decouragiren, aber das muss ich Dir sagen, eine unordentliche Haushaltung führst Du in Deinem Schreibtisch. Wäre ich nicht viel zu gut erzogen in Beziehung auf gelehrte Unordnung, so würde ich mir erlauben, mit energischer Hand unbeschriebenes Papier von beschriebenem zu sondern und alle Briefe in eine Schublade zu legen, ungelesen notabene, — und dann nach Miss Nightingal's Princip mit einem feuchten Tuch darin zu hausen — so aber lasse ich's beim status quo und freue mich, eine menschliche Schwäche bei Dir entdeckt zu haben."

Die Correspondenz mit seinen wissenschaftlichen Freunden nahm einen noch grösseren Umfang an als früher; wurde auch der wissenschaftliche Gehalt in seinem Briefwechsel mit du Bois dadurch geringer, dass die Arbeiten von Helmholtz allmählich auf Gebiete sich erstreckten,

welche den Untersuchungen du Bois' ferner lagen, so trat an die Stelle ein schon im Jahre 1856 beginnender und mit den Jahren immer reger und enger werdender brieflicher und persönlicher Verkehr mit W. Thomson, der nicht nur die eigenen epochemachenden Untersuchungen dieser beiden grossen Naturforscher zum Gegenstande hatte, sondern in welchem sie sich auch gegenseitig Mittheilung machten von den wichtigsten Arbeiten und Entdeckungen anderer Forscher während des langen Zeitraumes von fast 50 Jahren. So war Helmholtz der erste, welcher Thomson Nachricht gab von der Kirchhoff'schen Entdeckung der Metalle in der Sonnenatmosphäre; wenn auch der darauf bezügliche Brief sich bei Lord Kelvin nicht mehr vorfindet, so mögen doch dessen am 26. September 1902 an mich gerichtete hochinteressante Zeilen hier eine Stelle finden:

„..... There must be several others between that date and 1856, when I first had the great pleasure of making personal acquaintance with Helmholtz in Kreutznach where he came to see me, and in Bonn where I returned his visit.

„There must be a letter of November or December 1859 telling me of Kirchhoff's discovery of metals in the solar atmosphere by spectrum analysis. You may possibly find my answer which I wrote immediately on receiving it, telling him that, as chanced two or three days before, I had, in a lecture to my students in Glasgow University, told them that I had learned from Stokes that the double dark line D in the spectrum of sunlight proves that there is sodium vapour in the sun's atmosphere, and that other metals might be found there by the comparison of the Fraunhofer dark lines in the solar spectrum with the dark lines produced in flames by metals. I am sure I must also have told him that I had been giving this doctrine regularly in my lectures for several years.

„I well remember that at that time I was making „Pro-

perties of Matter" the subject of my Friday morning lecture. On one Friday morning I had been telling my students that we must expect the definite discovery of other metals in the sun besides sodium by the comparison of Fraunhofer solar dark lines with artificial bright lines. The next Friday morning I brought Helmholtz's letter with me into my lecture and read it, by which they were told that the thing had actually been done with splendid succes by Kirchhoff....."

Die Fertigstellung des grossen akustischen Werkes hatte nach dem Erscheinen der zweiten Lieferung der physiologischen Optik schon in der ganzen letzten Zeit seine Kraft fast ausschliesslich in Anspruch genommen, und Helmholtz durfte mit dem Beginn des Jahres 1861 nach den vieljährigen Vorarbeiten endlich hoffen, in kurzer Zeit der ganzen gebildeten Welt seine tiefen akustischen und musikalischen Forschungen vorlegen zu können. Kurz nach dem schweren Unfall, der Thomson getroffen, schrieb er am 16. Januar 1861 an dessen Frau:

„.... Ich habe den Winter hindurch an meiner physiologischen Theorie der Musik gearbeitet und habe nur noch zwei Capitel zu schreiben, dann bin ich mit dem ersten Entwurf fertig, wonach ich freilich im Einzelnen noch viel werde nachbessern und umarbeiten müssen. Ich hoffe, das Buch nach Ostern zum Druck geben zu können. Mr. Thomson wird ausser dem, was ich ihm schon im Sommer darüber auseinandergesetzt habe, noch manches Neue darin finden, was ich erst später beim Ausarbeiten des Einzelnen gefunden habe. Ich bin mit meinen physikalischen Theorien ziemlich weit in die Theorie der Musik eingedrungen, weiter als ich anfangs selbst zu hoffen wagte, und die Arbeit ist mir selbst äusserst amüsant gewesen. Wenn man aus einem richtigen allgemeinen Principe die Folgerungen in den einzelnen Fällen seiner Anwendung sich entwickelt, so kommen immer neue Ueberraschungen zum Vorschein, auf die man vorher nicht gefasst war. Und da sich die Folgerungen nicht nach

der Willkür des Autors, sondern nach ihrem eigenen Gesetze entwickeln, so hat es mir oft den Eindruck gemacht, als wäre es gar nicht meine eigene Arbeit, die ich niederschreibe, sondern als ob ich nur die Arbeit eines Anderen niederschriebe. Mr. Thomson muss an seinen eigenen Arbeiten über die mechanische Wärmetheorie ähnliche Erfahrungen gemacht haben. Ich habe dabei viele Musikstücke durchsehen müssen und Geschichte der Musik studirt. Dabei sind mir auch die schottischen Lieder nützlich gewesen, weil in ihnen manche eigenthümliche alte Formen sich erhalten haben ....."

Die Bearbeitung jener zwei noch nicht abgeschlossenen Capitel bot aber abgesehen von den schon oben besprochenen Untersuchungen über die arabisch-persische Tonleiter noch grössere physikalische und mathematische Schwierigkeiten, deren Behandlung er noch vor dem Erscheinen seines Werkes in kurzen Mittheilungen veröffentlichte.

Am 26. Juli 1861 hielt Helmholtz im naturhistorisch-medicinischen Verein in Heidelberg einen Vortrag „Zur Theorie der Zungenpfeifen", unter denen er alle solche Blasinstrumente versteht, in welchen dem Luftstrom durch einen schwingenden elastischen Körper der Weg bald geöffnet, bald verschlossen wird. Die Mechanik derselben war bisher nur von W. Weber für Pfeifen mit metallenen Zungen untersucht worden, welche wegen der grossen Masse und Elasticität der Zungen nur dann von der Luft kräftig bewegt werden, wenn sich der von der Pfeife angegebene Ton nicht zu sehr von dem Eigenton der freien Zunge unterscheidet, und somit meist unter den theoretisch möglichen Tönen nur einen einzigen Ton und zwar den angeben, welcher dem eigenen Ton der Zunge am nächsten liegt. Anders verhält es sich mit Zungen von leichtem, wenig Widerstand leistendem Material, wie es die Rohrzungen der Clarinette oder die menschlichen Lippen bei den Trompeten und Hörnern sind; Helmholtz unterscheidet zum Zwecke einer eingehenderen

Untersuchung einschlagende und ausschlagende Zungen, je nachdem die von diesen geschlossene Oeffnung frei wird, wenn sich die Zunge dem Winde entgegen nach der Windlade zu bewegt, wie die Zungen der Clarinette und die Zungenwerke der Orgel, oder wenn sie sich mit ihm gegen das Ansatzrohr bewegt, wie die menschlichen Lippen bei den Blechinstrumenten.

Indem nun die Zunge als ein Körper betrachtet wird, der durch elastische Kräfte in seine Gleichgewichtslage zurückgeführt und durch den mit dem Sinus der Zeit periodisch wechselnden Druck der Luft im Ansatzrohr wieder daraus entfernt wird, gelang es Helmholtz, aus den Bewegungsgleichungen mit Benutzung seiner Untersuchungen über die Luftbewegung im Inneren eines offenen cylindrischen Rohres, für Zungen mit cylindrischem Ansatzrohr zu folgern, dass der Augenblick stärksten Druckes in der Tiefe des Ansatzrohres fallen muss zwischen eine grösste Elongation der Zunge nach aussen, die ihm voraufgeht, und eine grösste Elongation nach innen, welche nachfolgt. Indem er die Schwingungsdauer in 360 Grade eintheilt, ergiebt sich ihm die trigonometrische Tangente des zwischen — 180^0 und + 180^0 zunehmenden Winkels, um welchen das Maximum des Druckes vor dem Durchgange der Zunge durch ihre Mittellage eintritt, als eine einfache rationale Function von drei Grössen: der Wellenlänge des Tones der freien Zunge in der Luft, der Wellenlänge des wirklich eingetretenen Tones und einer Constanten, welche bei Zungen von leichtem Material und grösserer Reibung grösser ist als bei solchen von schwerem und vollkommen elastischem Material. Zugleich folgt, dass bei einschlagenden oder ausschlagenden Zungen das Maximum der nach aussen gerichteten Geschwindigkeit der Luft zusammenfallen muss mit der grössten Elongation der Zunge nach innen oder nach aussen. Hieraus ergiebt sich aber leicht, dass die Töne gut ansprechen, bei denen die Luftsäule des Ansatzrohres wie die einer gedeckten Pfeife

schwingt, und dieselben, wie bei der Clarinette, fast unabhängig sind von der eigenen Tonhöhe der Zunge. Aehnlich behandelt nun Helmholtz Zungen mit kegelförmigem Ansatzrohr, indem er die früher in seiner grossen akustischen Arbeit für cylindrische Röhren gegebenen Betrachtungen auf kegelfömige Röhren erweitert, und findet, während man gewöhnlich die Töne der Blechinstrumente den Tönen einer offenen Pfeife gleich setzt, dass die oberen Töne bis auf einen halben Ton zu tief gegen die unteren sein können.

Mit dieser Arbeit beschliesst er zunächst wenigstens die Veröffentlichung seiner einzelnen akustischen Untersuchungen und geht nun an die Thomson schon früher angekündigte zusammenfassende Darstellung einer physiologischen Akustik.

Freude am Leben, Befriedigung und Glücksgefühl in den neuen Verhältnissen verleihen ihm wieder die alte Spannkraft des Geistes, Unermüdlichkeit in der Arbeit, zugleich aber auch wieder Sehnsucht nach Natur und Kunst — er ist eben im Begriff, die Brücke zu schlagen, die von der Physik und Physiologie zur Aesthetik führt. Nach Beendigung der Vorlesungen und einer Cur in Kissingen macht er mit seiner jungen Frau eine längere Reise in die Schweiz und nach Italien und kehrt, wie seine Freunde es später so oft erzählten, körperlich und geistig erfrischt und verjüngt, heiter und theilnehmend an allem, was ihm das Leben entgegenbrachte, in die herrliche Neckarstadt zurück, die ihm nun erst eine neue Heimath werden sollte. Seine Kinder Käthe und Richard, welche vom April an sich bei ihrer Grossmutter in Dahlem aufgehalten, holte er selbst noch im September nach Heidelberg ab, wo er nunmehr im Hause von Häusser auf der Anlage gemeinsam mit Frau von Velten eine geräumige Wohnung inne hatte.

Mit frischer Kraft nahm er die Bearbeitung seiner Akustik auf, vertiefte sich in überaus schwierige optische Probleme, deren Lösung die dritte Lieferung seiner physiologischen Optik bringen sollte, machte sich an den Bau und

die Ausführung seiner Erkenntnisstheorie, gestaltete aber auch zu gleicher Zeit die elektrischen Untersuchungen weiter aus, auf die ihn früher die Arbeiten von du Bois und seine eigenen physiologischen Probleme geführt hatten.

In einem Vortrage, gehalten im naturhistorisch-medicinischen Verein in Heidelberg am 8. December 1861 und betitelt „Ueber eine allgemeine Transformationsmethode der Probleme über elektrische Vertheilung", liefert Helmholtz, ohne die Untersuchungen Anderer über diesen Gegenstand zu kennen, eine Reihe von interessanten und weittragenden Sätzen.

Denkt man sich um den Anfangspunkt der Coordinaten eine Kugel gelegt und zwei Punkte in gerader Linie mit dem Mittelpunkt liegend construirt, für deren Entfernungen vom Mittelpunkt der Kugelradius die mittlere Proportionale ist, so wird von den beiden Punkten der eine das elektrische Abbild des anderen in Bezug auf die Kugelschale genannt. Wenn nämlich in dem einen Punkte die elektrische Masse M sich befindet, und auf der Kugel eine solche Vertheilung der Elektricität eintritt, dass längs der ganzen Oberfläche ihr Potential gleich dem der Masse M wird, so wird die elektrische Vertheilung auf der Kugelschale nach dem inneren und äusseren Raum gerade so wirken, als wäre alle Elektricität einmal in dem einen, das andere Mal in dem anderen Punkte concentrirt. Indem nun Helmholtz eine beliebige Function der Coordinaten des einen Punktes in eine Function der Coordinaten des Bildpunktes transformirt, findet er, dass der Laplace'sche Ausdruck der ersten, von einem von der Entfernung des ersten Punktes abhängigen Factor abgesehen, gleich ist dem Laplace'schen Ausdruck der mit einem von der Entfernung des Bildpunktes abhängigen Factor multiplicirten transformirten Function, und kann daraus schliessen, dass, wenn die eine Function eine Potentialfunction elektrischer Massen ist, welche in begrenzten Räumen, Flächen, Linien, Punkten verbreitet sind, die mit

dem bezeichneten Factor versehene transformirte Function die Potentialfunction von elektrischen Massen darstellt, welche in den Abbildern dieser Räume, Flächen, Linien, Punkte verbreitet sind, und einer im Mittelpunkte der Kugel befindlichen Masse. Ist somit die Vertheilung der Elektricität im Gleichgewichtszustand auf einer Fläche gefunden unter dem Einfluss gewisser Massen, so liefert die angegebene Transformation die Lösung eines anderen Problems für das elektrische Gleichgewicht auf dem Abbilde jener Fläche. Dem Vertheilungsproblem für Ellipsoide und andere Flächen zweiten Grades entsprechen Vertheilungsprobleme auf Flächen vierten Grades, dem Problem, welches Helmholtz für Kanten, in denen zwei unendliche Ebenen unter beliebigem Winkel zusammenstossen, gelöst hat, entsprechen solche für linsenförmige, von zwei sich schneidenden Kugelflächen begrenzte Körper; ähnliche Resultate ergeben sich für die Abbilder des inneren Raumes rechtwinkliger Parallelepipede und regelmässiger Tetraëder. Wesentlich andere Transformationsmethoden hat er später noch in seinen Vorlesungen gegeben.

Unmittelbar nachdem Helmholtz seine interessante Arbeit veröffentlicht hatte, wurde er darauf aufmerksam gemacht, dass die wesentlichsten Resultate derselben sich bereits in zwei an Liouville gerichteten Briefen W. Thomson's befinden, und er erkannte dies sogleich an in einer Stelle der Heidelberger Verhandlungen vom 30. Mai 1862. Zugleich schrieb er am 27. Mai an W. Thomson:

„.... Ich möchte Sie noch um Beantwortung einer wissenschaftlichen Frage bitten. Im vorigen Herbste verfiel ich wieder auf Potentialfunctionen. Die Schwierigkeiten, welche in meiner Arbeit über Schallbewegung in einer cylindrischen offenen Röhre unbesiegt geblieben sind, quälten mich. Die Schwierigkeit der Behandlung jener Aufgabe beruhte wesentlich darauf, dass an der Kante des offenen Endes der Pfeife die Luftbewegung discontinuirlich ist. Dies führte mich zur Untersuchung der Elektricitätsvertheilung an einer kreis-

förmigen Kante. Ich fand, dass ich diese herleiten könne in gewissen Fällen aus derjenigen an einer geraden Kante zweier sich schneidenden unendlichen Ebenen, und für letzteren Fall habe ich die Sache dann gelöst. Nun bin ich aber später darauf aufmerksam geworden, dass Sie schon früher im Cambridge Math. Journ. erklärten, diese Aufgabe gelöst zu haben, und ich möchte deshalb wissen, ob Sie die Lösung veröffentlicht haben oder noch zu veröffentlichen gedenken, in welchem Falle es für mich nicht lohnt, die Arbeit zum Druck auszuarbeiten. Das Princip der Spiegelung an einer Kugelfläche, durch welches eine gerade Kante in eine kreisförmige verwandelt werden kann, hatte übrigens auch ausser mir ein anderer sehr tüchtiger junger Mathematiker Lipschitz, wie er glaubte, neu gefunden, bis wir es in Ihren früheren Arbeiten noch glücklicherweise zeitig genug entdeckten. Ich habe es leider in einer kurzen Notiz in den Sitzungsberichten unserer hiesigen naturwissenschaftlichen Gesellschaft als neu veröffentlicht, wofür ich um Verzeihung bitte; in der ausführlichen Veröffentlichung derselben durch Lipschitz wird aber Ihr Eigenthumsrecht anerkannt werden.“

Thomson giebt ihm umgehend ausführliche Auskunft über seine mathematischen Fragen.

Inzwischen näherte sich aber auch sein grosses akustisches Werk der Vollendung; er schreibt am 29. April 1862 an Donders, nachdem er ihm mitgetheilt, dass ihm am 3. März ein Sohn geboren worden, der die Namen Robert Julius erhalten hat, und dessen Leben die Mutter fast mit dem eigenen erkauft hätte:

„Von meiner akustischen Arbeit „Physiologische Grundlagen für die Theorie der Musik“ sind die Holzschnitte jetzt gemacht, der Druck des Textes soll beginnen, zwei Drittel des Manuscriptes sind abgeschickt; an dem letzten Drittel ist noch mancherlei zu flicken und zu ändern, es ist aber der Hauptsache nach auch schon aufgeschrieben. Ich werde

sehr vergnügt sein, wenn ich die letzten Worte dieser sehr langathmigen Arbeit werde niedergeschrieben haben; denn ich arbeite jetzt sieben Jahre daran, was man dem Umfange des Buches nicht ansehen wird. Und dann werden Philosophen und Musiker das Buch vielleicht als einen Einbruch in ihr eigenes Gebiet betrachten, während unter den Physikern und Physiologen wieder nicht viele musikalische Leute sind, wie Sie z. B. Sie werden zunächst mein hochverständigster Kritiker sein, und ich bin deshalb sehr gespannt, ob mein kecker und verwegener Versuch, naturwissenschaftliche Methode in das Gebiet der Aesthetik hineinzutreiben, Ihren Beifall haben wird.“

Thomson meldet er am 27. Mai:

„Der Druck meines Buches über Akustik hat endlich begonnen und wird, wie ich denke, im Anfang August beendet werden. Ich habe noch an den letzten Capiteln einiges zu verbessern, dann ist die Arbeit fertig, an deren ersten Theilen ich noch in Arran gearbeitet habe.“

Mit dem Jahre 1862 begann für Helmholtz in Heidelberg die arbeitsvollste und schaffensreichste Periode seines Lebens; die Lehre von den Tonempfindungen, die physiologische Optik gingen ihrer Vollendung entgegen, seine erkenntnisstheoretischen Anschauungen gestalteten sich zu einem consequenten philosophischen Systeme aus, hydrodynamische und elektrodynamische Untersuchungen beschäftigten ihn unausgesetzt, und schon jetzt wandten sich seine Gedanken den Forschungen über die Axiome der Geometrie zu, die aber erst einige Jahre später der naturwissenschaftlichen Welt die Tiefe seiner mathematischen nnd philosophischen Conceptionen erkennbar machen sollten. Es zeigt sich in Helmholtz während der nächsten zehn Jahre eine Abklärung in der Auffassung naturwissenschaftlicher Probleme, eine Höhe der philosophischen Anschauungen, ein zielbewusstes sich Gegenüberstellen zu den Fragen und Räthseln der Natur, ein Zusammenfassen aller Hülfsmittel, welche

das Denken und Fühlen der Menschen gewährt, um zu erforschen, was der Erkenntniss der Menschen überhaupt sich erschliessen lässt — wie es uns in der Geschichte der Wissenschaften nur selten begegnet, und wie in seiner ganzen Ausdehnung nur derjenige es zu sehen und zu würdigen verstand, welchem das Glück einer persönlichen Berührung mit diesem herrlichen Menschen und grossen Forscher zu Theil wurde.

Hatten früher seine Jugendfreunde du Bois, Brücke, Ludwig den unaufhörlichen grossen Entdeckungen von Helmholtz zugejubelt, so staunten jetzt Bunsen und Kirchhoff seine wissenschaftliche Grösse an, und wie oft konnte man von Kirchhoff noch lange, nachdem er durch seine Spectralanalyse sich unsterblichen Ruhm erworben, die bescheidenen, aber wahren Worte hören: „Ich bin schon zufrieden, wenn ich nur eine Arbeit von Helmholtz verstehen kann, aber ich kann manche Punkte in seiner grossen akustischen Arbeit noch immer nicht enträthseln."

Von dieser Zeit geistigen Schaffens spricht Helmholtz, wenn er 30 Jahre später in seiner berühmten Tischrede, welche er am 2. November 1891 bei der Feier seines 70. Geburtstages gehalten, sagt:

„Es giebt ja viele Leute von engem Gesichtskreise, die sich selbst höchlichst bewundern, wenn sie einmal einen glücklichen Einfall gehabt haben oder ihn gehabt zu haben glauben. Ein Forscher oder Künstler, der immer wiederholt eine Menge glücklicher Einfälle hat, ist ja unzweifelhaft eine bevorzugte Natur und wird als ein Wohlthäter der Menschheit anerkannt. Wer aber will solche Geistesblitze zählen und wägen, wer den geheimen Wegen der Vorstellungsverknüpfungen nachgehen, dessen

Was vom Menschen nicht gewusst, Oder nicht bedacht,
Durch das Labyrinth der Brust Wandelt in der Nacht.

Ich muss sagen, als Arbeitsfeld sind mir die Gebiete, wo man sich nicht auf günstige Zufälle und Einfälle zu verlassen braucht, immer angenehmer gewesen. Da ich aber

ziemlich oft in die unbehagliche Lage kam, auf günstige Einfälle harren zu müssen, habe ich darüber, wann oder wo sie mir kamen, einige Erfahrungen gewonnen, die vielleicht Anderen noch nützlich werden können. Sie schleichen oft ganz still in den Gedankenkreis ein, ohne dass man gleich von Anfang ihre Bedeutung erkennt; dann hilft später nur zuweilen noch ein zufälliger Umstand zu erkennen, wann und unter welchen Umständen sie gekommen sind; sonst sind sie da, ohne dass man weiss woher. In anderen Fällen aber treten sie plötzlich ein, ohne Anstrengung, wie eine Inspiration. So weit meine Erfahrung geht, kamen sie nie dem ermüdeten Gehirn und nicht am Schreibtisch. Ich musste immer erst mein Problem nach allen Seiten so viel hin und her gewendet haben, dass ich alle seine Wendungen und Verwickelungen im Kopfe überschaute und sie frei, ohne zu schreiben, durchlaufen konnte. Es dahin zu bringen, ist ja ohne längere vorausgehende Arbeit nicht möglich. Dann musste, nachdem die davon herrührende Ermüdung vorübergegangen war, eine Stunde vollkommener körperlicher Frische und ruhigen Wohlgefühls eintreten, ehe die guten Einfälle kamen. Oft waren sie wirklich, den citirten Versen Goethe's entsprechend, des Morgens beim Aufwachen da, wie auch Gauss angemerkt hat (Gauss' Werke, Bd. V, S. 609; das Inductionsgesetz gefunden 1835, Januar 23., Morgens 7^h vor dem Aufstehen). Besonders gern aber kamen sie, wie ich schon in Heidelberg berichtet, bei gemächlichem Steigen über waldige Berge in sonnigem Wetter. Die kleinsten Mengen alkoholischen Getränks aber schienen sie zu verscheuchen. Solche Momente fruchtbarer Gedankenfülle waren freilich sehr erfreulich, weniger schön war die Kehrseite, wenn die erlösenden Einfälle nicht kamen. Dann konnte ich mich wochenlang, monatelang in eine solche Frage verbeissen, bis mir zu Muthe war, wie dem Thier auf dürrer Haide: Von einem bösen Geist im Kreis herumgeführt, Und ringsumher ist schöne grüne Weide. Schliesslich war

es oft nur ein grimmer Anfall von Kopfschmerzen, der mich aus meinem Banne erlöste und mich wieder frei für andere Interessen machte.“

Zu all’ den grossen wissenschaftlichen Arbeiten und Plänen traten nun auch die nicht geringen amtlichen Verpflichtungen hinzu — aber ihm waren in Heidelberg seine Vorlesungen über Physiologie und die allgemeinen Resultate der Naturwissenschaften sowie die Leitung der Arbeiten im Laboratorium durchaus nicht Pflichtarbeiten, denen er etwa mit Unlust nachging. Die Vorlesungen an der Universität waren ihm nicht nur eine Obliegenheit gegen den Staat, „der ihm Unterhalt, wissenschaftliche Hülfsmittel und ein gut Theil freier Zeit gewährte“, und somit auch ein Recht hatte, zu verlangen, dass er in geeigneter Form Alles, was er mit seiner Unterstützung gefunden, frei und vollständig seinen Studirenden sowie seinen Mitbürgern überhaupt mittheile; er war sich vielmehr dessen stets wohl bewusst, dass die Vorlesungen ihn zwingen, jeden einzelnen Satz scharf zu prüfen, jeden Schluss correct zu formuliren und dadurch, dass er nur ein bestimmtes Maass von Vorkenntnissen bei seinen Zuhörern voraussetzen durfte, ihm den für die Durchleuchtung und Klarstellung wissenschaftlicher Materien fruchtbringenden Zwang auferlegen, die Beweise für die von ihm vertretenen Wahrheiten mit so elementaren Hülfsmitteln als möglich durchzuführen. Die Zuhörer vertraten die Stelle seiner Freunde, welche er sich bei seinen wissenschaftlichen Veröffentlichungen immer gegenwärtig dachte. „Als mein Gewissen gleichsam standen dabei vor meiner Vorstellung die sachverständigsten meiner Freunde; ob sie es billigen würden, fragte ich mich. Sie schwebten vor mir als die Verkörperung des wissenschaftlichen Geistes einer idealen Menschheit und gaben mir den Maassstab.“

„Als Student in Heidelberg“, erzählt Engelmann, „folgte ich seinen Vorlesungen über Physiologie und den Vorträgen über die allgemeinen Resultate der Naturwissen-

schaften, die er damals jeden Winter zu halten pflegte. Es giebt im geistigen und gemüthlichen Leben zweierlei Formen von Energie, deren Summe erst den Werth des Ganzen bestimmt. Bei Helmholtz war nur ein geringer Theil des ungeheueren Energievorraths, den er in Geist und Gemüth barg, im gegebenen Augenblicke in actueller Form vorhanden. Die Umwandlung der potentiellen in lebendige Kraft erfolgte langsam, anders wie bei jenen Naturen, die man sonst mit Vorliebe geniale zu nennen pflegt. Da er die Form des Vortrages nie im Einzelnen ausgearbeitet hatte, sondern immer frei producirte, sprach er langsam, abgemessen, gelegentlich ein wenig stockend. Seine Augen waren dabei über die Zuhörer hinweg gerichtet, wie in unendlicher Ferne die Lösung eines Problems suchend. Er machte in seinem Colleg über Physiologie nie mehr Voraussetzungen in Bezug auf Kenntnisse und Fassungskraft seiner medicinischen Studenten als andere Lehrer desselben Fachs. Forschernamen nannte er selten, am wenigsten den eigenen.“

Im Laboratorium war er ein eifriger Lehrer, und jeder strebsame Schüler war ihm ein wissenschaftlicher Freund; frei von jeder Eifersucht, was er an Magnus stets so rühmend anerkannte, lieferte er oft genug für die ausgezeichneten Arbeiten, welche aus seinem Heidelberger Laboratorium hervorgingen, die Grundgedanken und gab eine Fülle von Vorschlägen für die Ueberwindung neuer experimenteller Schwierigkeiten, bei denen mehr oder weniger Erfindung in Betracht kam.

„Wer das Glück gehabt hat“, sagt Bernstein, sein langjähriger Assistent am physiologischen Institut, „Helmholtz experimentiren zu sehen, wird den Eindruck nicht vergessen, welchen das zielbewusste Handeln eines überlegenen Geistes bei der Ueberwindung mannigfacher Schwierigkeiten hervorruft. Mit den einfachsten Hülfsmitteln, aus Kork, Glasstäben, Holzbrettern, Pappschachteln u. dergl. entstanden Modelle sinnreicher Vorrichtungen, bevor sie den

Händen des Mechanikers anvertraut wurden. Kein Missgeschick war im Stande, die bewundernswerthe Ruhe und Gelassenheit, welche dem Temperament von Helmholtz eigen war, zu erschüttern; auch das Ungeschick eines Andern konnte sie nie aus ihrem Gleichgewicht bringen. Diejenigen, welche Jahre lang unter seiner Leitung thätig waren, haben ihn bei solchen Anlässen niemals in Erregung gesehen."

Auszeichnungen und wissenschaftliche Ehrungen wurden ihm in dieser Zeit vielfach zu Theil; der Ernennung zum Grossherzoglichen Hofrath im December 1861 folgte die zum Geheimrath III. Klasse am 28. October 1865, die philosophische Facultät der Berliner Universität hatte ihn schon am 16. October 1860 zum Ehrendoctor ernannt, das Ritterkreuz des Grossherzoglich Badischen Ordens vom Zähringer Löwen hatte er 1861, den Orden vom Niederländischen Löwen schon am Ende des Jahres 1858 erhalten, dem im Jahre 1865 der Kaiserlich Russische Stanislaus-Orden II. Klasse folgte.

Von der Regierung, von seinen Collegen, zu denen die bedeutendsten Forscher zählten, von den Studirenden aller Facultäten wurde ihm bewundernde Verehrung entgegengetragen, und es war nur ein kleines Zeichen der Anerkennung, dass ihm schon im Jahre 1862 die Würde des Prorectors der Heidelberger Universität übertragen wurde.

Die am 22. November 1862 von ihm gehaltene Prorectoratsrede „Ueber das Verhältniss der Naturwissenschaften zur Gesammtheit der Wissenschaften" liefert in stylistisch vollkommener Form eine Fülle von Gedanken und Gesichtspunkten, die er später bei verschiedenen Gelegenheiten noch ergänzt und bereichert hat, und die vielfach von Anderen zur Grundlage organisatorischer Bestrebungen gemacht wurden. Es ist vom höchsten Interesse, dem Gedankengange des grossen Forschers zu folgen und der späteren Entwickelung seiner Ideen nachzugehen.

Fern von der so häufigen Einseitigkeit des Gelehrten

sieht er das Wissen allein nicht als Zweck des Menschen auf der Erde an; wenn die Wissenschaften auch die feinsten Kräfte des Menschen entwickeln und ausbilden, so giebt doch nur das Handeln dem Manne ein würdiges Dasein; entweder die praktische Anwendung des Gewussten oder die Vermehrung der Wissenschaft selbst, welche auch ein Handeln für den Fortschritt der Menschheit ist, muss sein Zweck sein. Um aber an dem Vorwärtsschreiten der Wissenschaft mitzuarbeiten, genügt es nicht, Thatsachen zu kennen; Wissenschaft entsteht erst, wenn sich ihr Gesetz und ihre Ursachen enthüllen. Haben nun die Wissenschaften den Zweck, den Geist herrschend zu machen über die Welt, so ist es auch die Pflicht der Gebildeten, ihre Gleichwerthigkeit anzuerkennen und sie nur ihrem Inhalte nach zu unterscheiden; besitzen die Naturwissenschaften die grössere Vollendung in der wissenschaftlichen Form, so behandeln die Geisteswissenschaften, indem sie den menschlichen Geist selbst in seinen verschiedenen Trieben und Thätigkeiten zergliedern, einen reicheren, dem Interesse des Menschen und seinem Gefühle näher liegenden Stoff. Aber diese Erkenntniss bricht sich leider nur äusserst langsam Bahn; noch kurz vor seinem Tode klagt Helmholtz in der von ihm verfassten Glückwunschadresse der Berliner Akademie zum fünfzigjährigen Doctorjubiläum seines Freundes du Bois darüber, dass leider noch eine grosse Kluft besteht, welche den Gesichtskreis der philosophisch-historisch gebildeten Kreise unserer Nation wie des ganzen civilisirten Europa von dem der naturwissenschaftlich und mathematisch Gebildeten trennt; beide Kreise verstehen sich kaum in Bezug auf die Interessen ihres Denkens und Strebens — ein grosses Hinderniss für ein gedeihliches Zusammenwirken und für eine harmonische Fortentwickelung der Menschheit. Deshalb findet er für den Ausgleich der verschiedenen wissenschaftlichen Anschauungen — wie er in seiner zu der Uebersetzung von Tyndall's „Fragments of Science“ im Jahre 1874 erschienenen Vorrede „Ueber

das Streben nach Popularisirung der Wissenschaft“ hervorhebt — die im besten Sinne populären Darstellungen naturwissenschaftlicher Forschungen so erwünscht, weil nicht sowohl Kenntniss der Ergebnisse dieser Forschungen dasjenige ist, was die verständigsten und gebildetsten unter den Laien suchen, als vielmehr „eine Anschauung von der geistigen Thätigkeit des Naturforschers, von der Eigenthümlichkeit seines wissenschaftlichen Verfahrens, von den Zielen, denen er zustrebt, von den neuen Aussichten, welche seine Arbeit für die grossen Räthselfragen der menschlichen Existenz bietet“.

Nur flüchtig streift Helmholtz in seiner Rede die Fragen des Unterrichts, welche später von so grossem actuellen Interesse geworden sind; er giebt den classischen Sprachen wegen ihrer ausserordentlich feinen künstlerischen und logischen Ausbildung für die Erziehung der Jugend den modernen Sprachen gegenüber den Vorzug, und bei der Erörterung der Frage, ob den mathematischen Studien als „den Repräsentanten der selbstbewussten logischen Geistesthätigkeit“ ein grösserer Einfluss in der Schulbildung eingeräumt werden müsse, spricht er zu Gunsten dieser die Ueberzeugung aus, dass sich auch mit der Zeit die Individuen genöthigt sehen werden, strengere Schulen des Denkens durchzumachen, als die Grammatik sie zu gewähren im Stande ist.

Eingehender sucht er zunächst den charakteristischen Unterschied zwischen den Naturwissenschaften und den Geisteswissenschaften dadurch zu charakterisiren, dass die Naturwissenschaften meist im Stande sind, ihre Inductionen bis zu scharf ausgesprochenen allgemeinen Regeln und Gesetzen durchzuführen, während die Geisteswissenschaften es überwiegend mit Urtheilen nach psychologischem Tactgefühl zu thun haben. In klaren und schönen Worten hebt er in der oben bezeichneten Vorrede zu dem Tyndall’schen Werke die Wichtigkeit hervor, welche der Inhalt der classischen Schriften für die Ausbildung des sittlichen und ästhetischen

Gefühls, für die Entwickelung einer anschaulichen Kenntniss menschlicher Empfindungen, Vorstellungskreise und Culturzustände hat; aber er spricht dem ausschliesslich literarisch-logischen Bildungswege das wichtigste Moment der methodischen Schulung derjenigen Thätigkeit ab, „durch welche wir das ungeordnete, vom wilden Zufall scheinbar mehr als von Vernunft beherrschte Material, das in der wirklichen Welt uns entgegentritt, dem ordnenden Begriffe unterwerfen und dadurch auch zum sprachlichen Ausdruck fähig machen". Er findet in den einfacheren Verhältnissen der unorganischen Natur ein Mittel zur systematischen Entfaltung von Begriffsbildungen, mit der „kein anderes menschliches Gedankengebäude in Bezug auf Folgerichtigkeit, Sicherheit, Genauigkeit und Fruchtbarkeit zugleich" verglichen werden kann.

So kommt er in seiner akademischen Rede zur Anerkennung der nicht fortzuleugnenden Thatsache, dass, wenn auch durch Hegel und Schelling der Gegensatz zwischen Geisteswissenschaften und Naturwissenschaften in übertriebener Schärfe zum Ausdruck gekommen war, ein solcher doch in der Natur der Dinge begründet sei und sich geltend mache. Bei der Vergleichung der verschiedenen Naturwissenschaften unter einander hebt er den grossen Vortheil hervor, den die experimentirenden Wissenschaften bei der Aufsuchung der allgemeinen Naturgesetze vor den beobachtenden dadurch voraus haben, dass sie willkürlich die Bedingungen verändern können, unter denen der Erfolg eintritt, und sich deshalb auf eine nur kleine Zahl charakteristischer Fälle der Beobachtung beschränken dürfen, um die Gültigkeit des Gesetzes festzustellen; er verlangt von der experimentellen und mathematischen Naturwissenschaft, fortzuarbeiten bis zur Ermittelung ausnahmsloser Gesetze: „erst in dieser Form erhalten unsere Kenntnisse die siegende Kraft über Raum und Zeit und Naturgewalt". So sieht er in dem Gravitationsgesetz die gewaltigste Leistung, deren die logische Kraft des menschlichen Geistes jemals fähig gewesen ist, aber nur

in der Mathematik sieht er absolute Sicherheit des Schliessens; dort herrscht keine Autorität als die des eigenen Verstandes, und nur aus wenigen Axiomen baut sich die ganze Wissenschaft auf.

„Hier sehen wir die bewusste logische Thätigkeit unseres Geistes in ihrer reinsten und vollendetsten Form; wir können hier die ganze Mühe derselben kennen lernen, die grosse Vorsicht, mit der sie vorschreiten muss, die Genauigkeit, welche nöthig ist, um den Umfang der gewonnenen allgemeinen Sätze genau zu bestimmen, die Schwierigkeit, abstracte Begriffe zu bilden und zu verstehen, aber ebenso auch Vertrauen fassen lernen in die Sicherheit, Tragweite und Fruchtbarkeit solcher Gedankenarbeit."

Seine wissenschaftlichen Arbeiten hatten jetzt, während die „Lehre von den Tonempfindungen" im Drucke war, fast ausschliesslich äusserst schwierige physiologisch-optische Fragen zum Gegenstande, und noch wenige Tage vor seiner akademischen Festrede hielt er am 24. October 1862 in dem naturhistorisch-medicinischen Verein zu Heidelberg einen Vortrag „Ueber die Form des Horopters, mathematisch bestimmt", der im Wesentlichen die Resultate seiner tiefgehenden Untersuchungen brachte, welche im Jahre 1864 unter dem Titel „Ueber den Horopter" in Graefe's Archiv für Ophthalmologie erschienen; nur insofern enthielt die letztere Arbeit eine Erweiterung jener in dem Vortrage niedergelegten Theoreme, als er die Veränderungen berücksichtigte, welche die inzwischen von Recklinghausen nachgewiesene Asymmetrie in der Vertheilung der identischen Netzhautstellen in beiden Augen bedingte, während er der ersten Bearbeitung die damals noch allgemeine Annahme zu Grunde legte, dass identische Netzhautstellen in der Primärstellung beider Augen solche sind, auf denen das Bild desselben unendlich weit entfernten Punktes entworfen würde, Veränderungen, die er schon im December 1862 dem genannten Verein in Heidelberg mittheilte.

Nachdem er mit Berücksichtigung der Asymmetrie eine präcise Definition des Gesichtsfeldes, des Sehfeldes, des geometrischen und scheinbaren Ortes gegeben, hebt er vor allem die wichtige Unterscheidung des wirklich und scheinbar verticalen Meridians hervor, nach welcher der wirklich verticale Meridian des Sehfeldes uns nicht vertical erscheint, sondern vielmehr ein Meridian, der in Wirklichkeit mit seiner oberen Hälfte nach aussen geneigt ist. Als correspondirende oder identische Punkte beider Sehfelder bezeichnet er solche, welche scheinbar gleiche Lage oder gleiche Höhen- und gleiche Breitenwinkel haben, und definirt als Horopter den Inbegriff aller derjenigen Punkte des Raumes, welche in correspondirenden Stellen beider Sehfelder projicirt werden und somit in beiden Augen unter gleichem Höhen- und gleichem Breitenwinkel erscheinen. Er nennt den geometrischen Ort der Punkte, welche in beiden Augen unter gleichem Höhenwinkel erscheinen, Horizontalhoropter, entsprechend für gleiche Breitenwinkel Verticalhoropter, indem sich in jenem gerade Linien ziehen lassen, welche als correspondirende horizontale Linien in beiden Sehfeldern projicirt werden, also als Linien einfach erscheinen, während ihre einzelnen Punkte nicht in correspondirenden Orten abgebildet werden und daher in Doppelbildern sich darstellen; das Analoge gilt für verticale Linien bei der zweiten Art des Horopters. Der Horopter im engeren Sinne oder Punkthoropter für gleichen Höhen- und Breitenwinkel ist somit die Schnittlinie des Horizontal- und Verticalhoropters.

Im Allgemeinen ergiebt sich durch sehr einfache mathematische Betrachtungen für die Form der beiden Horopter ein Hyperboloid mit einer Mantelfläche, die jedoch für gewisse Lagen des Fixationspunktes in einen Kegel oder in zwei sich schneidende Ebenen übergehen kann; der Punkthoropter wird im Allgemeinen die Curve doppelter Krümmung sein, in welcher sich die beiden Hyperboloide schneiden, kann sich jedoch in Ausnahmefällen auf gerade Linien oder Kegel-

schnitte reduciren. Für den Fall, dass der Fixationspunkt in endlicher Entfernung in der Mittelebene der Symmetrie- oder der Medianebene des Kopfes liegt, besteht der Punkthoropter aus einer geraden Linie und einem Kegelschnitt, der in den Müller'schen Horopterkreis übergeht, wenn die Visirebene, welche gleichzeitig Meridianebene beider Augen ist, sich in ihrer Primärlage befindet, in der die Augen ihre Primärstellung einnehmen. Liegt aber der Fixationspunkt in der Medianebene unendlich entfernt, so gehört der ganze unendliche Raum dem Horizontalhoropter an, und es erscheint also jeder Punkt des Raumes beiden Augen unter gleichen Höhenwinkeln, während der Kegel des Verticalhoropters, da Müller's Horopterkreis unendlich gross wird, sich auf zwei Ebenen reducirt. Es ist somit die horizontale Bodenfläche, auf der der Beobachter steht, Horopterfläche, wenn dieser in horizontaler Richtung und parallel mit der Medianebene seines Kopfes in unendliche Ferne hinausschaut, und die Bodenfläche ist dann offenbar auch Punkthoropter. Befindet sich endlich der Fixationspunkt in der Primärlage der Visirebene, aber ausserhalb der Medianebene, so besteht der Horizontalhoropter aus zwei sich schneidenden Ebenen, der Verticalhoropter ist ein Hyperboloid, und den Punkthoropter bildet der Müller'sche Horopterkreis und eine gerade Linie.

Für die Feststellung der Bedeutung des Horopters beim Sehen ist die Bemerkung von Helmholtz sehr interessant, dass er lange Zeit die Aufsuchung der Form des Horopters mehr für eine theoretische Spielerei gehalten habe, da alle Aufmerksamkeit der Beobachtung nicht ausreicht, um die kleinen Differenzen zweier zu einer stereoskopischen Raumanschauung verschmolzener Gesichtsbilder zu erkennen und Objecte doppelt zu sehen, die ziemlich merklich von dem mathematischen Horopter entfernt sind. Aber er gewann doch durch weitere Beobachtungen die Ueberzeugung, dass die Gesichtswahrnehmung derjenigen Objectpunkte, die im Horopter liegen, gewisse Vortheile habe, die der Lage des

Horopters eine praktische Bedeutung geben, indem die Raumanschauung durch das binoculare Sehen ihre grösste Genauigkeit erreicht für diejenigen Objecte, die im Horopter liegen, und desto ungenauer wird, je weiter sich die Objecte vom Horopter entfernen. Indem er diese Ansicht durch scharfsinnig erdachte Experimente als richtig zu erweisen sucht, gelangt er zu sehr interessanten Resultaten für die grosse Bedeutung des Gebrauchs beider Augen beim Gehen. Wenn wir uns im Freien bewegen, blicken wir meist nach etwas entfernteren Gegenständen in horizontaler Richtung, und da dann der Fussboden unsere Horopterfläche ist, so erkennen wir seine Gestalt verhältnissmässig genau auch im indirecten Sehen und können dadurch beim Gehen unsere Augen frei gebrauchen. Die binoculare Raumprojection rückt dabei sehr weit in die Ferne hinaus, indem man bei richtiger Lage der Fussbodenebene im Horopter noch die räumliche Trennung von sehr weit entfernten Baumgruppen vom Horizonte dadurch bemerkt, dass ein hinter ihnen sich ausbreitendes Feld noch eben hingestreckt erscheint; bei veränderter Richtung der Visirebene können auch Flächen von nicht horizontaler Richtung in den Horopter kommen und so deutlich modellirt erscheinen, wie es im Horopter geschieht.

Die im Jahre 1864 in Poggendorff's Annalen veröffentlichten „Bemerkungen über die Form des Horopters“ wenden sich gegen einige von Hering gegen seine Theorie erhobenen Einwände, welche die Frage erörtern, ob die ganze Ausdehnung der mathematisch gefundenen Curve auch wirklich dem Horopter angehört; indem er diese Einwände zu widerlegen sucht, hebt er hier, wie überall später in seiner physiologischen Optik die grossen Verdienste Hering's um die Physiologie der Sinne hervor, dessen ausgezeichnete Arbeiten über Farbentheorie er stets rühmend anerkennt.

Inzwischen war am Ende des Jahres 1862 der Druck der „Lehre von den Tonempfindungen“ beendet, und Helmholtz schrieb am 14. December an Thomson:

„Ihre beiden angekündigten Arbeiten über die Abkühlung der Erde und die Formveränderungen elastischer Kugelschalen, welche sich auch wohl auf die Erde beziehen wird, interessiren mich sehr, weil ich jetzt angefangen habe, eine Vorlesung vor Studirenden aller Facultäten zu halten über die allgemeinen Resultate der Naturforschung, worin ich namentlich das Gesetz von der Erhaltung der Kraft und seine Consequenzen in populärer Weise zu erklären suche und es als Leitfaden benutze, um die verschiedenen Zweige der Naturwissenschaften mit einander zu verbinden. Da habe ich nun bisher die Geschichte des Planetensystems der Sonne und der Erde besprochen und mich überzeugt, dass dabei noch manche Probleme von den Astronomen und Geologen liegen gelassen sind, die bei dem jetzigen Zustande der Wissenschaft wohl behandelt werden könnten, freilich nur von Jemand, der ein ganz gründlicher Physiker und Mathematiker ist. Auch Ihr Unternehmen, ein Lehrbuch über Natural Philosophy zu schreiben, ist sehr dankenswerth, freilich aber auch sehr mühsam. Doch hoffe ich wird es Ihnen auch eine Menge Stoff zu wichtigen Arbeiten zuführen. Wenn man ein solches Buch zu schreiben sucht, bemerkt man am besten die Lücken, welche sich in der Wissenschaft noch finden.

Mein Buch über Akustik ist eben erschienen unter dem Titel „Die Lehre von den Tonempfindungen, als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik“. Der Buchhändler hat mir schon gemeldet, dass eines der Exemplare, welches ich für Sie bestimmt hatte, an Ihre Adresse nach Glasgow abgegangen ist. Der Druck des Buches und die Geschäfte des Prorectorats, welche mir in diesem Jahre oblagen, haben meine Zeit sehr in Anspruch genommen, so dass ich noch nichts anderes daneben habe arbeiten können. Jetzt habe ich mich wieder an die Vollendung meiner physiologischen Optik gemacht, von welcher noch eine Abtheilung fehlt.“

In der nur aus wenigen Zeilen bestehenden Vorrede zu

jenem grossen von Physikern, Physiologen, Musikern und Aesthetikern sehnlichst erwarteten akustischen Werke bezeichnet Helmholtz dasselbe als die Frucht achtjähriger Arbeit und spricht seinen Dank aus dem König Maximilian von Bayern, „welchem die deutsche Wissenschaft schon in so vielen ihrer Felder die bereitwilligste Theilnahme und Förderung verdankt", und der ihm die Mittel bewilligt hat für die Construction des Apparates zur künstlichen Zusammensetzung der Vocalklänge.

Helmholtz stellt sich in diesem Werke die Aufgabe, die Grenzgebiete der physikalischen und physiologischen Akustik mit denen der Musikwissenschaft und Aesthetik zu verbinden, und sieht daher zunächst von der rein physikalischen Akustik ab, welche ihrem Wesen nach nichts anderes ist als ein Theil der Lehre der elastischen Körper. Dem von ihm auch für die Optik aufgestellten Eintheilungsprincipe gemäss theilt er die physiologische Akustik in drei Theile, deren erster sich mit der Untersuchung zu beschäftigen hat, auf welche Weise der Schall im Ohre bis zu den empfindenden Nerven hingeleitet wird, und welcher den physikalischen Theil der entsprechenden physiologischen Untersuchung der Empfindungen liefert; deren zweiter vorzugsweise physiologischer Theil die Erregungen der Nerven selbst behandelt, welche verschiedenen Empfindungen entsprechen; und deren dritter wesentlich psychologischer Theil die Gesetze festzustellen sucht, nach welchen aus solchen Empfindungen Vorstellungen bestimmter äusserer Objecte, also Wahrnehmungen zu Stande kommen. Die physikalische und mathematische Grundlage der Gehörsempfindungen bildet den Gegenstand erst später von ihm veröffentlichter höchst interessanter, aber nur dem Mathematiker völlig verständlicher Arbeiten, während die physiologischen Theile der Gehörsempfindungen nebst den psychologisch-ästhetischen Untersuchungen in dem Werke selbst einer staunenswerthen und zum grossen Theile leicht verständlichen Analyse unterzogen werden.

Die erste Abtheilung, welche die Zusammensetzung der Schwingungen, die Theorie der Obertöne und der Klangfarbe behandelt, sowie die zweite, welche sich mit den Störungen des Zusammenklanges, den Combinationstönen und Schwebungen, der Consonanz und Dissonanz beschäftigt, liefern eine ausführliche, im besten Sinne und in mustergültiger Weise populäre Darstellung, eine eingehendere Analyse und durch eine Fülle neuer Versuche erweiterte Darlegung all' der oben besprochenen, von Helmholtz in seinen Einzelarbeiten veröffentlichten Resultate, geben eine genaue Darstellung des Baues und der Theorie seines Harmoniums in natürlicher reiner Stimmung und zeigen, wie sich die schon von Dove vervollkommnete Sirene Cagniard-Latour's zu seiner mehrstimmigen Sirene entwickelt hat — die beiden ersten Theile dieses in seiner Art einzig dastehenden Werkes unterwerfen also solche Naturerscheinungen der Untersuchung, bei denen der Construction des Ohres gemäss mechanische Nothwendigkeit herrscht, also jede Willkür ausgeschlossen ist, und deshalb auch feste Gesetze für die Erscheinungen ermittelt werden können. Wesentlich neu, grossartig in ihrer Anlage, bewundernswerth in der Durchführung behandelt die dritte Abtheilung die Verwandtschaft der Klänge, die Tonleitern und Tonalität, und betritt zur Begründung der elementaren Regeln der musikalischen Composition das Gebiet der Aesthetik.

„Die Beziehungen zwischen der Physiologie des Gehörsinns und der Theorie der Musik", sagt Helmholtz später bei anderer Gelegenheit, „sind besonders auffällig und deutlich, weil die elementaren Formen der musikalischen Gestaltung viel reiner von dem Wesen und den Eigenthümlichkeiten unserer Empfindungen abhängen, als dies bei den übrigen Künsten der Fall ist, bei denen die Art des zu verwendenden Materials und der darzustellenden Gegenstände sich viel einflussreicher geltend macht."

Von der durch seine historischen Untersuchungen über

die Entwickelung der Musik gewonnenen Ueberzeugung ausgehend, dass das System der Tonleitern, der Tonarten und deren Harmoniegewebe nicht bloss auf unveränderlichen Naturgesetzen beruht, sondern dass es zum Theil auch die Consequenz ästhetischer Principien ist, die mit fortschreitender Entwickelung der Menschheit einem Wechsel unterworfen sind, zeigt er, wie die Musik, analog der Baukunst, auch wesentlich von einander verschiedene Richtungen eingeschlagen hat. Er unterscheidet drei Hauptperioden der musikalischen Kunst, die homophone (einstimmige) Musik des Alterthums, an welche sich auch die jetzt bestehende Musik der orientalischen und asiatischen Völker anschliesst, die polyphone Musik des Mittelalters, vielstimmig, aber noch ohne Rücksicht auf die selbständige musikalische Bedeutung der Zusammenklänge, vom 10. bis in das 17. Jahrhundert reichend, und endlich die harmonische oder moderne Musik, charakterisirt durch die selbständige Bedeutung, welche die Harmonie als solche gewinnt, und deren Ursprünge in das 16. Jahrhundert fallen. Die Begründung und Durchführung dieser Eintheilung durch die Geschichte der Musik aller Völker hin wird nicht nur stets einen der grössten Ruhmestitel Helmholtz'scher Production, sondern für alle Zeiten ein bewundernswerthes Beispiel für die Verknüpfung historischer und naturwissenschaftlicher Forschung bilden.

Schon in seinen früheren Arbeiten hatte er nachgewiesen, dass die Obertöne in den musikalischen Bildungen eine wesentliche Rolle für die Harmonie spielen, dass aber das Gesetz, welches den Wohlklang der harmonischen Tonverbindungen bedingt, ein unbewusstes ist, indem die Obertöne zwar von den Nerven empfunden werden, jedoch nicht in das Gebiet des bewussten Vorstellens eintreten, deren Verträglichkeit oder Unverträglichkeit aber trotzdem gefühlt wird. Für die höhere geistige Schönheit der Musik sind Harmonie und Disharmonie nur Mittel, während die Melodie eine Bewegung ausdrückt, deren Charakter sich der unmittel-

baren Wahrnehmung des Hörers leicht, deutlich und sicher zu erkennen giebt. Da die Schritte der Bewegung ihrer Schnelligkeit und Grösse nach für die unmittelbar sinnliche Wahrnehmung genau abmessbar sein müssen, so ist für Helmholtz die melodische Bewegung nichts anderes als Veränderung der Tonhöhe in der Zeit, und da zwar das Auge eine continuirliche Bewegung zu verfolgen vermag, aber nicht das Ohr, welchem die Fähigkeit abgeht, den zurückgelegten Weg nochmals rück- und vorwärts zu verfolgen und sich ganz einzuprägen, so muss die melodische Bewegung in festen Stufen geschehen, deren Auffassung leicht ist. In der Musik aller Völker erfolgt die Veränderung der Tonhöhe in den Melodien stufenweise, nicht in continuirlichem Uebergange; sowohl bei melodischer als bei harmonischer Musik werden Klänge mit harmonischen Obertönen bevorzugt, und für eine gute musikalische Wirkung eine gewisse mässige Stärke der fünf bis sechs untersten Partialtöne, sowie eine geringe Stärke der höheren Partialtöne verlangt, was die Bedeutung der Obertöne auch für die Melodie feststellt. Er fasst seine Resultate dahin zusammen, dass in der Musik die mehr oder weniger harmonische Wirkung der Intervalle in Melodie und Harmonie mit besonderen sinnlich wahrnehmbaren Phänomenen, den Obertönen, zusammenhängt, welche die harmonischen Intervalle um so deutlicher und genauer abgrenzen, je einfacher und reiner diese sind.

Zur Behandlung der schwierigen Frage von den Tonleitern, für die er die wesentlichen Principien schon früher veröffentlicht hatte, erläutert er das Princip der Klangverwandtschaft. Indem er Klänge im ersten Grade verwandt nennt, welche zwei gleiche Partialtöne haben, und im zweiten Grade verwandt, wenn sie mit demselben dritten Klange im ersten Grade verwandt sind, wobei die Stärke der Verwandtschaft von der Stärke der gleichen Obertöne abhängt, entwickelt er auf Grund der natürlichen Verwandtschaft der Klänge zu einander die Tonleiter, betrachtet jedoch, da das

Princip der Klangverwandtschaft nicht zu allen Zeiten die Bildung der Tonleiter ausschliesslich bestimmt hat, dasselbe als ein bis zu einem gewissen Grade frei gewähltes Stilprincip. Durch seine Theorie der Tonleiter, der Harmonie und Melodie erläutert Helmholtz einige der dunkelsten und schwierigsten Punkte der allgemeinen Aesthetik und zeigt, dass diese Betrachtungen mit der Lehre von den Sinneswahrnehmungen, also mit der Physiologie in engem Zusammenhange stehen, während die ästhetische Zergliederung vollendeter musikalischer Kunstwerke und das Verständniss der Gründe ihrer Schönheit ihm noch auf scheinbar unüberwindliche Hindernisse zu stossen scheint. Wiederholt hebt er später bei verschiedenen Gelegenheiten, so auch in seiner Goethe-Rede in Weimar hervor, dass es ein Missverständniss sei, durch irgend welche ästhetische Untersuchungen Vorschriften geben zu wollen, nach denen die Künstler handeln sollen.

„Die eigentliche Schwierigkeit wird in der Verwickelung der psychischen Motive liegen, die sich hier geltend machen. Freilich beginnt auch hier erst der interessantere Theil der musikalischen Aesthetik — handelt es sich doch darum, schliesslich die Wunder der grossen Kunstwerke zu erklären, die Aeusserungen und Bewegungen der verschiedenen Seelenstimmungen kennen zu lernen. So lockend aber auch das Ziel sein möge, ziehe ich es doch vor, diese Untersuchungen, in denen ich mich zu sehr als Dilettant fühlen würde, Anderen zu überlassen und selbst auf dem Boden der Naturforschung, an den ich gewöhnt bin, stehen zu bleiben.“

Das in Inhalt und Form herrliche Werk, welches für die Belehrung grosser Kreise der gebildeten Welt bestimmt war, wurde viel gelesen, aber nur von Auserwählten ganz verstanden, da zur wirklichen Würdigung desselben nicht geringe physikalische und selbst mathematische Kenntnisse nothwendig waren. Noch am 27. Februar 1864 schrieb

Helmholtz an Ludwig, welcher diesem seine unbegrenzte Bewunderung der grossartigen Schöpfung ausspricht:

„Dass Du mit meinen Tonempfindungen zufrieden bist, ist mir sehr lieb, da Du einer der wenigen musikalischen Naturforscher bist, von denen ich hoffen durfte, dass sie sich vollständig in das Verständniss des Ganzen hineinarbeiten werden. Bisher hat das Buch, wie mir scheint, im Ganzen mehr succès d'estime gehabt, als es die Menschen überzeugt hat. Ich habe mir übrigens darüber, dass es so sein würde, niemals Illusionen gemacht. Wenigstens sehe ich, dass es Eindruck gemacht hat, und darf hoffen, dass es sich allmählich freie Bahn brechen wird.“

Am meisten geschätzt und bewundert, weil am leichtesten in diesen schwierigen akustischen Untersuchungen der gebildeten Welt zugänglich und verständlich, wurde aber seine Fähigkeit, sich in die historische Entwickelung grosser und umfassender naturwissenschaftlicher Disciplinen zu vertiefen, wie er sie in seiner physiologischen Optik, sowie später in seinen Untersuchungen über Elektrodynamik und in der berühmten Akademierede über die Geschichte des Princips der kleinsten Wirkung bekundet. Dem grossen Naturforscher war die Geschichte der Wissenschaft ein Leitfaden für den continuirlichen Fortschritt der Forschung; er kennzeichnet seine Auffassung von der Bedeutung historischer Untersuchungen, selbst in den abstractesten naturwissenschaftlichen Disciplinen, in einer interessanten Aufzeichnung, von der mir Eduard Zeller nach Kenntnissnahme derselben in einer gütigen Mittheilung vom 26. April 1902 schreibt, sie zeige dieselbe Beherrschung des Stoffes und klare Hervorhebung des Wesentlichen, welche alle geschichtlichen Darstellungen ihres Verfassers auszeichnet. Sie lautet:

„Es ist sehr lehrreich, sich in den Gedankenkreis und die Sinnesweise alter Zeiten zurückzuversetzen; aber man stösst dabei auf unerwartete Schwierigkeiten. Vieles, was wir von unserer ersten Kindheit an gewusst und gekonnt

haben, ohne dass unserer Erinnerung nach es uns jemand gelehrt hätte, was uns daher als ganz einfach und selbstverständlich erscheint: das haben, wie wir staunend entdecken, in alten Zeiten auch die leitenden Männer der intelligentesten Nationen nicht gekonnt und nicht gewusst. Gerade bei solcher Gelegenheit tritt am entschiedensten hervor, dass wir der Arbeit der vorausgegangenen Generationen noch viel mehr verdanken, als wir uns gewöhnlich klar machen.

Solche Gedanken drängen sich uns auf, wenn wir auf die Geschichte der Naturwissenschaften zurückblicken. Nichts ist einfacher, als die Methode der Forschung dieser Wissenschaften, wie sich dieselbe schliesslich, nachdem viele Irrwege vergebens betreten waren, festgestellt hat. Diese Methode, die unter dem Namen der inductiven beschrieben zu werden pflegt, ist in der That nichts anderes, als das Verfahren, welches der sogenannte gesunde Menschenverstand für die praktischen Zwecke des täglichen Lebens ohne alle wissenschaftliche Schulung von selbst einzuschlagen pflegt, und von dessen Anwendung wir selbst bei den intelligenteren Thieren unverkennbare Spuren finden. Durch Erfahrung suchen wir kennen zu lernen, wie sich die uns umgebenden Dinge unter diesen oder jenen Umständen, namentlich auch bei den Eingriffen, die wir durch unsere Handlungen machen, zu verhalten pflegen. Wir setzen dann voraus, dass in jedem neu eintretenden Falle der Verlauf der Dinge der gleiche sein werde, wie in allen früheren Fällen von hinlänglich ähnlicher Art. Der Unterschied zwischen der wissenschaftlichen Forschung und der alltäglichen Erfahrung liegt nur darin, dass wir in letzterer die Fälle so hinnehmen, wie sie der Zufall uns vorführt, dass wir uns mit den allmählich sich verdunkelnden Erinnerungen des Gesehenen begnügen, wie sie in unserem Gedächtnisse haften bleiben, dass das einzige Maass, nach welchem wir quantitative und qualitative Unterschiede beurtheilen, meist

nur durch die Intensität und Art der sinnlichen Empfindung gegeben ist. Bei wissenschaftlicher Forschung dagegen suchen wir möglichst grosse Vollständigkeit in der Beobachtung der einzelnen Fälle und ihrer Abänderungen zu erreichen, indem wir sie entweder aufsuchen, wo sie sich von selbst darbieten, oder sie absichtlich durch den Versuch herbeiführen. Wir suchen dabei scharf und bestimmt die Bedingungen abzugrenzen, von denen es abhängt, ob ein gewisser Erfolg eintritt oder ausbleibt, beziehlich in welcher Grösse er eintritt, und ruhen nicht eher, als bis wir in jedem einzelnen neu eintretenden Falle ähnlicher Art vorauszusagen wissen, was geschehen wird. Indem wir das Gefundene in genau definirte Begriffe fassen, in Wort und Schrift fixiren, erweitern wir die Erfahrung jedes Einzelnen durch die Erfahrung aller Mitlebenden und Vorausgegangenen. Wir sind dabei sicher, dass jede Abweichung von einem für wahr gehaltenen Gesetz die allgemeine Aufmerksamkeit um so stärker erregen wird, je fester der Glaube an seine Richtigkeit war. So bleiben die schon gewonnenen Ergebnisse der Wissenschaft einer dauernden Controle ihrer Richtigkeit oder eventueller Verbesserung unterworfen. Aber alles dies ist im Grunde nichts als eine möglichst sorgfältige und consequente Ausführung dessen, was ein verständiger Mann für die nächstliegenden praktischen Zwecke auch ohne alle wissenschaftliche Schulung zu thun pflegt.

Natürlich dürfen wir uns nicht darüber wundern, wenn dem Jünger der Wissenschaft eine um so schwerere Arbeit des Denkens zugemuthet wird, je umfassender und je schärfer bestimmt die Gesetze werden, welche er verstehen und anwenden soll. Die allgemeinsten Principien der Mechanik in ihrer abstract mathematischen Fassung scheinen freilich von der Anschaulichkeit eines populären Erfahrungssatzes weit entfernt zu sein. Sie sind die Zauberformeln geworden, mit deren Hülfe die moderne Menschheit die widerstrebenden Gewalten der Natur in ihren Dienst gebannt hat, und doch

sind sie auf demselben Wege gewonnen, der mit kleinen Fertigkeiten und Kunstgriffen des häuslichen Lebens und des Handwerks begonnen hat.

Dass die Nationen des classischen Alterthums weniger naturwissenschaftliche Kenntnisse gehabt haben als wir, die wir auf ihren Schultern stehen, wird uns nicht in Erstaunen setzen dürfen. Wir wundern uns vielleicht öfter darüber, dass sie dieses und jenes gewusst haben, als über das Gegentheil. Was uns aber immer wieder in Verwunderung setzt, ist, dass diese Völker, die in der Ausbildung der Sprache, des Rechtes, der staatlichen Ordnung, in der Geschichtsschreibung und philosophischen Abstraction uns in keiner Weise nachstanden, in vielen Richtungen künstlerischer Thätigkeit uns sogar entschieden überlegen waren, eine auffallende Unfähigkeit zeigen, die richtigen Wege für die Lösung naturwissenschaftlicher Probleme zu finden, ja auch nur die richtigen Fragen zu stellen. Es macht den Eindruck, als sei ihnen die Methode, welche schliesslich die reichen Früchte gezeitigt hat, zu einfach und zu einfältig erschienen, um Grosses von ihr zu hoffen, und dass sie geglaubt haben, erheblichere Resultate nur durch stärkere Anspannung des Denkens erreichen zu können.

Dass ihnen die Fähigkeit, die ich vorher als gesunden Menschenverstand ohne wissenschaftliche Schulung bezeichnete, auch in der Beobachtung der Aussenwelt nicht gefehlt habe, brauche ich nicht hervorzuheben. Sie ist ausserdem dem künstlerischen Talent und der Fähigkeit, charakteristische Typen künstlerisch darzustellen, nahe verwandt. Denn ein solcher Typus ist auch die Erscheinungsweise eines gesetzlichen Verhaltens. Wir finden geradezu ein hervorragendes Beispiel einer solchen mehr künstlerischen als wissenschaftlichen Begabung in Hippokrates. Er hat die Regelmässigkeiten im Ablauf und in der Verbreitung der Krankheiten aufzufinden und zu beschreiben gewusst und so die erste Ordnung in diesem Gebiete geschaffen, in

welchem unverkennbar die Sonderung der verschiedenen zusammenwirkenden Ursachen am allerschwierigsten ist. Wissenschaftliche Schulung fehlt ihm nicht ganz. Eine ziemliche Anzahl guter medicinischer Kenntnisse scheint in der Schule des Asklepiaden, aus der er hervorging, überliefert worden zu sein, und er kannte, was seine Zeit an wissenschaftlichen Theorien hervorgebracht hatte. Diese waren aber freilich der Art, dass man urtheilen muss, Hippokrates sei trotz seiner theoretischen Bildung nicht durch dieselbe ein grosser Arzt geworden. Er bezieht sich auf seine Theorien übrigens immer nur da, wo sich ihre Folgerungen den Thatsachen gutwillig anpassen; wo nicht, übergeht er sie mit Stillschweigen. Seine Schüler und Nachfolger aber, denen die Hauptsache, nämlich sein ausgezeichnetes Beobachtungstalent fehlte, suchten seine Grösse gerade in dem, wo er schwach war, nämlich in den Theorien, und zogen aus diesen deductiv Schlüsse, die sie nicht etwa an den Thatsachen prüfen zu müssen meinten, sondern die sie statt der Thatsachen festhielten. Dasselbe Verhältniss wiederholte sich immer wieder, so oft ein grosser Meister der Beobachtung aufgetreten war, und kann als das charakteristische Zeichen einer Entwickelungsstufe der Wissenschaft angesehen werden, wo diese noch nicht zum Bewusstsein der richtigen Principien ihrer Methode gekommen ist.

Allerdings haben die Griechen auch zur Auffindung dieser Principien die ersten Schritte gethan. Dass es darauf ankomme, in den Beobachtungswissenschaften zunächst einen möglichst vollständigen Ueberblick der Thatsachen zu gewinnen und die Erfahrungen der Generationen zu sammeln, hat Aristoteles richtig erkannt und sich selbst an das Werk gemacht, um dies für die naturhistorischen, zum Theil auch für die physikalischen Wissenschaften zu leisten, Galenus später für die medicinischen, beide mit grosser Einsicht und richtigem Urtheil. Daneben haben Sokrates und Aristoteles auch richtige Anfänge der Erkenntniss-

theorie entwickelt, ersterer, indem er die wissenschaftliche Wichtigkeit der Bildung von scharf definirten Begriffen an Beispielen erläuterte, letzterer, indem er die logischen Principien der deductiven Methode, die Darstellung der Folgerungen aus gegebenen Vordersätzen entwickelte. Was beide in dieser Beziehung geleistet haben, machte grossen Eindruck auf ihre Zeitgenossen und erregte überschwengliche Hoffnungen. Für uns ist es kaum noch möglich, uns in einen Zustand der geistigen Bildung zurückzudenken, wo die Sätze der gewöhnlichen Logik als neue und überraschende Einsichten erscheinen, und doch mag keine geringe Kraft der Abstraction dazu gehört haben, sie das erste Mal klar in Worte zu fassen. Die deductive Methode findet ihre berechtigte Anwendung aber erst dann, wenn richtige und hinreichend allgemeine Vordersätze gewonnen worden sind, aus denen Folgerungen für besondere Fälle hergeleitet werden können. Dies war dem Alterthum nur in einem Gebiete, dem der Geometrie, gelungen, welche, wie es scheint, zuerst von den Aegyptern für praktische Zwecke ausgearbeitet, von Pythagoras den Griechen überliefert und von Euklides in eine schon sehr vollendete wissenschaftliche Form gebracht wurde. Dass auch die Axiome der Geometrie, diese allgemeinen Vordersätze, aus denen alle anderen abgeleitet werden können, aus der Erfahrung und nicht aus der Natur des reinen Denkens abgeleitet sind, habe ich an anderem Orte zu beweisen gesucht.

Uebrigens waren auch einige physikalische Gesetze im engeren Sinne schon dem Alterthum bekannt. Pythagoras kannte die einfachen Verhältnisse der Länge von Saiten, welche den consonanten musikalischen Intervallen entsprechen. Archimedes kannte die Gesetze der Zurückwerfung des Lichtes und viele Gesetze der Statik, z. B. die für das Gleichgewicht des Hebels und für das der in Flüssigkeiten eingetauchten schweren Körper. Er begründete darauf die noch jetzt gebrauchten Methoden, das specifische

Gewicht der Körper zu finden. Hero kannte die Wirkungen des Luftdruckes, Claudius Ptolemaeus die Gesetze der Strahlenbrechung in der Atmosphäre.

Namentlich aber in der Astronomie hatte man schon früh eine ziemlich genaue Kenntniss von der Weise, wie Sonne, Mond, Planeten und Fixsterne sich am Himmel scheinbar bewegen. Auch hier waren Aegypter und Babylonier den Griechen vorangegangen. Der Kalender für die bürgerliche Zeitrechnung wurde allmählich immer mehr verbessert und genauer mit den Bewegungen von Sonne und Mond in Einklang gesetzt. Die astronomischen Forschungen waren sehr geeignet, durch die Anschauung der genauen und unabänderlichen Gesetzmässigkeit in so grossen Verhältnissen den menschlichen Geist zum Aufsuchen einer ewigen Ordnung hinzuleiten, aber die Gesetze, die man zu formulieren wusste, bezogen sich zunächst nur auf die äussere Erscheinungsweise der himmlischen Bewegungen. Wenn auch Vorstellungen von der wahren Art der Bewegung der Erde um die Sonne gelegentlich aufgetaucht sind, so war weder in der Astronomie der Alten, noch in den musikalischen Beobachtungen des Pythagoras, noch in den medicinischen des Hippokrates die geringste Spur von einem Verständniss der Mechanik dieser Erscheinungen. Es folgt während des Mittelalters eine lange Zeit geistiger Unselbständigkeit, Ueberschätzung der deductiven Methode und der Autorität der alten Meister, namentlich des Aristoteles und des Hippokrates. Das erste neue Erwachen selbständiger Forschung musste ein harter Kampf gegen diese Autoritäten sein, wie ihn Copernicus in der Astronomie, Vesalius in der Anatomie, Harvey in der Physiologie zu führen hatten.

Der Fortschritt wurde zunächst hauptsächlich durch die Astronomie herbeigeführt. Die Gesetzmässigkeit der Planetenbewegungen erschien als eine ausserordentlich viel einfachere und verständlichere, seitdem Copernicus die Sonne als den feststehenden Mittelpunkt des Systems zu betrachten

gelehrt, und Kepler die regelmässig elliptische Form der Bahn, sowie die einfachen Gesetze, welche die Geschwindigkeit der Fortbewegung jedes Planeten in seiner Bahn bestimmen, aufgefunden hatte. Der entscheidende Schritt aber wurde durch Galilei und J. Newton gethan, indem sie den Begriff der bewegenden Kraft nach seiner wahren Bedeutung entwickelten. Ersterer that es zunächst an dem Beispiel der irdischen Schwere. Seine Darstellung ist noch eine bildliche, indem er die Wirkung einer continuirlich wirkenden Bewegungskraft mit der einer Reihe kleiner in kurzen Zwischenräumen auf einander folgender Anstösse vergleicht. Newton war im Stande, mit Hülfe der schärfer definirten neuen Begriffe der Differentialrechnung die Kraft in rein begrifflicher und ganz scharf bestimmter Form nach Grösse und Richtung durch das Product aus der Masse des von ihr angegriffenen Körpers und seiner Beschleunigung zu definiren. Diese Definition, angewendet auf die Planetenbewegungen, führte die verwickelte Reihe von Erscheinungen auf das höchst einfache Gesetz der allgemeinen Anziehung aller schweren Körper gegen einander zurück und stellte damit das glänzendste und imponirendste Beispiel für die einfache und strenge Gesetzmässigkeit der Natur und das Vorbild für die Ziele hin, denen die Wissenschaft nachzustreben habe. Durch das Gravitationsgesetz war der Ort und die Geschwindigkeit jedes Planeten nicht bloss in grober Annäherung, sondern mit den feinsten Messungen übereinstimmend und für unabsehbare Zeiten genau quantitativ bestimmt. Was noch fehlte, war nur die vollständige Berechnung der sogenannten Störungen, welche die Planeten durch ihre wechselseitige Anziehung auf einander hervorbrachten. Diese Aufgabe wurde hauptsächlich durch Laplace gelöst. Was die Theorie anzeigte, fand sich in der Beobachtung nachträglich bestätigt.

Möglich wurde die vollständige Anwendung der genannten mechanischen Principien durch die gleichzeitige

Entwickelung der Mathematik, nämlich durch Descartes' analytische Geometrie, in der alle geometrischen Probleme zu Aufgaben der Rechnung gemacht werden, und durch die von Leibniz und Newton entwickelte Analysis, das heisst die Rechnung mit continuirlich veränderlichen Grössen.

Man hatte längst die letzten verborgenen Ursachen der Naturerscheinungen als Kräfte bezeichnet, diese als inhärent den Stoffen, als dauernd bestehend und dauernd wirksam betrachtet. In der schon vor Galilei und von ihm entwickelten Lehre von der Zusammensetzung verschiedener Kräfte, die auf denselben Punkt wirken, war die Selbständigkeit jeder einzelnen und ihre Unabhängigkeit von den gleichzeitig vorhandenen anderen Kräften anerkannt. Aber bis dahin war die Kraft immer noch ein hypothetisches Abstractum gewesen. Der grosse Fortschritt, der in Galilei's und Newton's Auffassung lag, war, dass sie nun die Bedeutung einer beobachtbaren Thatsache bekam, der Beschleunigung, d. h. der für die Secunde berechneten Aenderung der Geschwindigkeit, multiplicirt mit der Masse des bewegten Körpers. Wenn Newton die Kraft von der Entfernung der Körper abhängig machte, so war darin ein unveränderliches Verhältniss beobachtbarer Thatsachen ausgesprochen; die Beschleunigungen beider Körper werden von ihrer Lage abhängig gemacht. Es zeigte sich bald, dass die ganze Mechanik, die Lehre vom Gleichgewicht, wie die von der Bewegung aller Arten von Körpern aus diesen Principien entwickelt werden konnte, und Newton's Gravitationsgesetz wurde das Vorbild, nach dem die Erklärungen auch in allen anderen Zweigen der Physik durchgeführt wurden. Erst die Elektrodynamik hat Probleme gestellt, die sich nicht mehr auf dieses Schema zurückführen lassen.

Wenn es die Aufgabe der Naturwissenschaften ist, zu suchen, was unabänderlich bleibt in dem Wechsel der Erscheinungen, so hatte die Entwickelung des Begriffes der Kraft und des durch sie als zwingende Macht anerkannten

Gesetzes der Erscheinungen dieser Forderung nur nach einer Richtung hin Genüge gethan. Es lag auch noch die Aufgabe vor, die unzerstörbaren, mit unveränderlichen Kräften begabten Stoffe zu suchen, die wir jetzt „chemische Elemente" nennen. Dass diese Aufgabe vorliege, haben auch die Alten richtig gesehen, aber ihre Versuche, sie zu lösen, zeigen nur, wie weit sie von der Einsicht in die richtige Methode entfernt waren. Ihre vier Elemente sind Producte einer Hypothese, die nur die auffallendsten Unterschiede des Aggregatzustandes berücksichtigte, und bei der an eine thatsächliche Prüfung nie gedacht wurde. Eine solche begann, wenn auch nicht zu wissenschaftlichen Zwecken, bei den Alchemisten des Mittelalters. Die Frage, ob Gold aus anderen Stoffen zu machen sei, fiel zusammen mit der Frage, ob es Elementarstoffe gebe, die nicht in einander verwandelt werden können. Dass die Elemente nur auf dem Wege des Versuchs zu finden seien, dass ihr Gewicht unveränderlich sein müsse, hat R. Boyle (1627 bis 1691) zuerst deutlich ausgesprochen, aber die Unbekanntschaft mit der Natur der Gase und die damit zusammenhängenden Schwierigkeiten der Verbrennungstheorie verzögerten noch ein Jahrhundert lang die richtige Durchführung dieser Principien, bis Lavoisier, gestützt auf Priestley's Entdeckung des Sauerstoffs und auf H. Cavendish's Nachweis, dass Wasserstoff verbrannt Wasser erzeuge, die Rolle des Sauerstoffs bei der Verbrennung richtig erkannte und sein neues System durch den Nachweis bekräftigte, dass in der That das Gewicht keiner der von ihm als Elemente hingestellten Substanzen durch Schliessung oder Lösung einer chemischen Verbindung jemals geändert werde.

Damit waren die principiellen Fragen im Wesentlichen entschieden. Die Wissenschaften, welche die lebenden Organismen erforschen, haben sich in den bisher besprochenen Perioden der jedesmaligen Entwickelung der physikalischen und chemischen Theorien angeschlossen. Ihre Aufgabe er-

schien zunächst zu verwickelt und zu schwierig, als dass von ihnen aus principielle Fragen zu entscheiden waren. Erst in der neuesten Zeit ist dies anders geworden. Diese Entwickelung ist aber so neu, dass darüber kaum Geschichte zu schreiben ist.“

Während des Druckes seiner Lehre von den Tonempfindungen hatte sich Helmholtz fast ausschliesslich mit physiologisch-optischen Problemen beschäftigt, und er bearbeitete zunächst in Verbindung mit seinen Horopteruntersuchungen durch Ausführung geistvoller Versuche und eine tief eindringende mathematische Analyse das überaus schwierige Gebiet der Augenbewegungen und ihrer Beziehungen zum binocularen Sehen, worin er all die früher von Anderen und ihm selbst entwickelten Gesetze auf ein einziges Princip, das der leichtesten Orientirung im Raume, zurückführte. Jetzt tritt er aber ganz rückhaltlos auf die Seite des Empirismus und sucht den Gebrauch der Sinnesorgane und alle Feinheiten desselben als anerzogen und durch Züchtung vervollkommnet nachzuweisen. Auch die Augenbewegung ist dem Willen unterworfen, sobald sie nöthig ist, „um der einzig möglichen Willenintention zu dienen, welche für die Augenbewegung gebildet werden muss, nämlich die, einfach und deutlich zu sehen“.

Helmholtz legte einen kurzen Abriss seiner Untersuchungen über die Augenbewegungen am 8. Mai 1863 dem naturwissenschaftlich-medicinischen Verein zu Heidelberg unter dem Titel „Ueber die Bewegungen des menschlichen Auges“ vor und gab eine ausführliche Darlegung derselben noch in demselben Jahre unter dem Titel: „Ueber die normalen Bewegungen des menschlichen Auges“ in Gräfe's Archiv für Ophthalmologie. Graefe schreibt ihm am 4. Juli 1863:

„Ausserordentlich haben Sie mich durch die Zusendung Ihres gewichtigen Manuscriptes erfreut. Dass unser Archiv auf die Mitarbeitung desjenigen stolz ist, welcher es dem Geiste nach ohne Zweifel begründet hat, das bedarf keiner Versicherung.“

Um verschiedene Punkte unseres Gesichtsfeldes zu fixiren, also das optische Bild derselben mit dem Centrum der Netzhautgrube, als der Stelle des deutlichsten Sehens, zusammenfallen zu lassen, genügt es, die Gesichtslinie um bestimmte Winkel zu wenden, wobei sich aber der Augapfel um die Gesichtslinie als Axe noch beliebig drehen kann. Das Problem der Augenbewegung besteht nun darin, den Grad dieser Raddrehung der Augapfel zu bestimmen, wenn der Gesichtslinie eine bestimmte Stellung im Gesichtsfelde gegeben wird, da durch Versuche festgestellt ist, dass zu jeder Stellung der Gesichtslinie ein bestimmter Grad der Raddrehung gehört, dieser also nur abhängt von der Richtung dieser Linie, relativ zur Lage des Kopfes genommen, und nicht von dem Wege, auf welchem die Gesichtslinie in die betreffende Lage gebracht ist. Bei gegebener und constant bleibender Haltung des Kopfes werden also die vertical über oder unter dem fixirten Punkte liegenden anderen Punkte des Gesichtsfeldes stets auf demselben Netzhautmeridiane abgebildet, wie auch das Auge in die betreffende Stellung gekommen sein mag; im entgegengesetzten Falle jedoch müsste, um die Richtung der Verticallinien zu bestimmen, die Empfindung des Grades der Raddrehung gegeben sein, und es würde somit die Aufgabe der Orientirung im Gesichtsfelde weit complicirter sein als beim Bestehen jenes Gesetzes. Helmholtz hat daher dieses Gesetz das Princip der leichtesten Orientirung für die Ruhestellungen des Auges genannt.

Nachdem nun schon durch Versuche von Donders nachgewiesen war, dass die Interessen des binocularen Einfachsehens bei den Augenbewegungen gar nicht berücksichtigt sind, suchte Helmholtz nach einem optischen Princip für die Augenbewegung, von der Ueberzeugung ausgehend, dass bei dem seinem Gebrauch so zweckmässig angepassten Organe, wie es das Auge ist, ein optischer Zweck durch die vorhandene Einrichtung erfüllt sein müsse. Dieses optische Princip fand er in einer weiteren Entwickelung des Princips

der leichtesten Orientirung. An den Satz, dass jede bestimmte Stellung der Gesichtslinie mit einem bestimmten Grade der Raddrehung des Auges verbunden ist, knüpfte er die Frage an, wie sich dasselbe während der Bewegung verhalten wird, oder wie es möglich gemacht ist, dass das Auge in seiner Orientirung möglichst sicher bleibe, wenn der Fixationspunkt im Gesichtsfelde sich verschiebt. Um hierauf eine bestimmte Antwort ertheilen zu können, musste zunächst die in optischer und erkenntnisstheoretischer Beziehung interessante Frage erörtert werden, wie während der Bewegung des Auges, welche in jedem Punkte der Netzhaut die Lichteindrücke fortdauernd wechseln lässt, die Anerkenntniss erhalten bleiben kann, dass trotz dieses Wechsels aller Lichteindrücke nicht eine Verschiebung und Veränderung der Objecte, sondern nur eine Bewegung des Auges stattgefunden habe; offenbar genügte es, diese Anerkenntniss für unendlich kleine Verschiebungen des Auges zu gewinnen. Um aber die Ueberzeugung zu erhalten, dass alle Veränderungen des Bildes auf sämmtlichen Theilen der Netzhaut nur von der geänderten Stellung des Auges und nicht von einer Veränderung der Objecte im Gesichtsfelde herrühren, ist die Bedingung zu erfüllen, dass der Uebergang eines Punktes des Bildes von der Netzhautgrube nach einem bestimmten, unendlich wenig entfernten Netzhautpunkte stets nur durch Drehung um eine bestimmte, relativ zum Auge unveränderlich gelegene Axe erfolgt.

Aus dem Princip der leichtesten Orientirung und aus dem bekannten Satze der Mechanik, dass man die Axenrichtungen unendlich kleiner Drehungen nach der Regel des Parallelogramms der Kräfte zusammensetzt, folgt nun, dass die Bewegung des Fixationspunktes nach irgend einem zweiten unendlich wenig entfernten Punkte des Gesichtsfeldes geschehen muss durch Drehung um eine Axe, welche in einer bestimmten, zum Auge unveränderlich gelegenen Ebene befindlich ist. Weil nun die Drehaxen für alle vorkommenden

Bewegungen in einer Ebene liegen sollen, so wird bei keiner unendlich kleinen Drehung des Auges eine Drehung desselben um die auf jener Ebene der Axen senkrecht stehende Linie, welche Helmholtz die atrope Linie des Auges nennt, vorkommen. Da sich aber Drehungen von endlicher Grösse bekanntlich nicht mehr nach jenem mechanischen Princip zusammensetzen lassen, so wird man bei den Bewegungen des Auges die für die Bewahrung der Orientirung im Gesichtsfelde aufgestellte Forderung nicht vollständig erfüllen können. Man wird somit nur ein Gesetz der Augenbewegungen suchen dürfen, bei welchem die Summe aller Abweichungen von diesem Princip ein Minimum ist, oder wird fordern müssen, dass, wenn man jede Drehung um die atrope Linie als Fehler bezeichnet, mit Rücksicht auf die bekannten Grundsätze der Wahrscheinlichkeitsrechnung die Summe der Fehlerquadrate für die sämmtlich möglichen unendlich kleinen Bewegungen des Auges zusammengenommen ein Minimum werde.

Helmholtz entwickelt nun in geistvoller Weise nach den Principien der Variationsrechnung die Bedingungen für die Existenz des Minimums eines bestimmten Integrales, dessen Elemente aus dem Producte der Fehlerquadrate und dem Incremente des Winkels bestehen, welchen die durch das Bogenelement und die Gesichtslinie gelegte Ebene mit einer festen Ebene bildet. In völlig unerwarteter Weise gelangt er zu dem schon von Listing ohne jede Angabe von Gründen ausgesprochenen Gesetze. Nennt man die Stellung des Auges, von welcher aus alle unendlich kleinen Bewegungen desselben ohne Drehung um die Gesichtslinie geschehen, die Primärstellung, alle anderen die Secundärstellungen, so wird die Stellung des Auges in einer bestimmten Secundärstellung gefunden, wenn dasselbe aus der Primärstellung in die Secundärstellung übergeführt wird durch Drehung um eine Axe, welche auf der primären und secundären Richtung der Gesichtslinie senkrecht steht. Erst

durch die von Helmholtz gegebene Deutung des Listing-schen Gesetzes als der Lösung einer Minimumsaufgabe der angegebenen Form ist die grosse Wichtigkeit dieser Untersuchungen klar gestellt worden. Die von ihm durchgeführte experimentelle Prüfung dieses theoretisch gefundenen Gesetzes ergab die vollständige Bewahrheitung desselben, wobei die zur Bestimmung der Augenstellungen angewandten Methoden durch Benutzung der Nachbilder oder mittelst binocularer Doppelbilder die allerdifficilsten Versuche verlangten. Endlich stellte sich noch Helmholtz, um den Kreis der darauf bezüglichen Untersuchungen ganz zu schliessen, die Aufgabe, durch Versuche nachzuweisen, dass die Orientirung im Gesichtsfelde wirklich mangelhaft wird, wenn das Auge nicht solche Bewegungen ausführt, deren Drehungsaxe immer in ein und derselben, im Auge festen Ebene liegt. Es ergab sich aus der Minimumsuntersuchung, dass diese Bedingung erfüllt ist für alle Bewegungen des Auges, welche von der Mitte des Gesichtsfeldes fort nach seiner Peripherie zu gerichtet sind, aber nicht für solche Bewegungen, welche durch eine Reihe von peripherischen Stellungen des Auges hindurchgehen; diese müssen in diesem Falle dann auch falsche Raumprojectionen im Gesichtsfelde nachweisen, wofür auch in der That überzeugende Versuche angestellt wurden.

„So glaube ich auch“, schliesst er diese fundamentale Arbeit, „dass das in der vorliegenden Untersuchung gefundene Gesetz der Augenbewegung erworben ist durch den Gebrauch des Auges, bei dem sich fortdauernd das Bedürfniss möglichst sicherer Orientirung geltend machte, und dass deshalb die von mir gegebene Ableitung aus diesem Bedürfniss wirklich den letzten Grund des Gesetzes darlegt. Wir dürfen aber wohl erwarten, dass schliesslich das Wachsthum der Muskel bewirken wird, dass die durch das Bedürfniss der Orientirung verlangten Augenstellungen auch mit der geringsten Anstrengung hergestellt werden. Eine

Art zwingender Gewohnheit, hergeleitet aus dem Bedürfniss der Orientirung, beherrscht die Augenbewegungen, und ich halte es deshalb nicht für nöthig, nach anatomischen Einrichtungen zu suchen, die das Gesetz dieser Bewegungen bestimmen.“

Gegen das Princip der leichtesten Orientirung hat Hering Einwände erhoben auf Grund sehr schöner und sinnreicher Versuche, die er aus dem von ihm aufgestellten Gesetze der identischen Sehrichtungen erklären wollte, und Helmholtz selbst hat später in seiner physiologischen Optik in diese äusserst schwierige Materie Ordnung und Klarheit zu bringen sich bemüht.

Wissenschaftliche Ehren wurden ihm auch in diesem Jahre reichlich zu Theil; er wurde unter anderem mit Beginn desselben membre honoraire de l'Académie Royale de Médecine de Belgique, und erhielt von allen Seiten verehrungsvolle und bewundernde Anerkennung der naturwissenschaftlichen Welt. Du Bois schreibt ihm am 9. December 1863: „Soeben habe ich Deine Abhandlung über die Augenbewegungen erhalten. Während Du von Eroberungen zu Eroberungen fliegst, komme ich aus der thierischen Elektricität nicht heraus.“ Aber die Mühen seines Amtsjahres, die Vorlesungen, das Laboratorium und vor allem die ununterbrochene wissenschaftliche Arbeit hatten ihn so angegriffen, dass sein Arzt Friedreich ihn mit Beginn der Sommerferien zu bewegen suchte, möglichst bald eine Erholungsreise zu unternehmen.

„Friedreich hat mir in diesem Jahre“, schreibt Helmholtz am 29. August 1863 aus Heiden (Appenzell) an Donders, „(die vorjährige Kur in Kissingen hat mir nicht viel Erleichterung gebracht) empfohlen, Molken zu trinken, was ich bisher hier in Heiden gethan habe, und nun will ich noch eine Wanderung durch die Berge machen, zusammen mit meinem Collegen Bunsen. Ich will mit ihm am 3. September in Amsteg zusammentreffen, und wir wollen dann

um den Gotthard herum nach Disentis, Airolo, den Tosafällen und dem Aeggischhorn gehen . . . Es ist ein trauriges Ding, wenn der Mensch erst gezwungen ist, hypochondrisch zu werden und so viel Aufmerksamkeit auf seine Gesundheit zu verwenden.“

Die wissenschaftlichen Arbeiten des folgenden Winters wendeten sich wieder ganz seiner physiologischen Optik zu, deren dritte Abtheilung noch eine grosse Zahl ausserordentlich schwieriger Probleme behandeln sollte; zugleich nahmen zahlreiche öffentliche Vorlesungen seine Zeit sehr in Anspruch.

„Ich habe in diesem Winter“, schreibt er am 27. Februar 1864 an Ludwig, „dem Publicum und dem Mammon dienen müssen und die Erhaltung der Kraft als nährende Milchkuh behandelt. Ich habe in Karlsruhe acht Vorlesungen darüber gehalten und mich fertig gemacht, während der Osterferien in London das Gleiche englisch zu thun. Eine Reise nach England betrachte ich immer als eine Art geistiger Badekur, durch welche man aus der trägen Bequemlichkeit des lieben Deutschland einmal wieder zu etwas activerem Verhalten aufgerüttelt wird, und solche Vorlesungen, wie ich sie schon einmal gehalten habe, geben ein gutes Verbindungsmittel ab zu einer engeren thätigen Berührung mit den englischen Naturforschern.“

Im Jahre 1863 erfolgte der Umzug der Familien Helmholtz und Kirchhoff in den mittlerweile vollendeten „Friedrichsbau“, einen für jene Zeit schönen und geräumigen Gebäudecomplex, welcher die Laboratorien, Lehrsäle und die Wohnungen für die Vorstände umfasste. Schon damals bildete das Helmholtz'sche Haus den Mittelpunkt schönster Geselligkeit, welche von geistiger Vornehmheit und harmonischer Einfachheit getragen wurde; innige Freundschaft verband ihm die Collegen Kirchhoff, Bunsen, Zeller, die engsten socialen Beziehungen verknüpften sein Haus mit dem von Vangerow, Haeusser, Gervinus, Friedreich, Kopp,

Wattenbach u. A. In den bequemeren Wohnungsverhältnissen vermochte er sich nun auch seinen Kindern mehr zu widmen und unternahm nach vielen Richtungen hin zum grossen Theil selbst die Unterweisung seines Sohnes Richard, welcher im Jahre 1862 das Heidelberger Gymnasium bezogen.

„Was den Verkehr zwischen dem Vater und uns Kindern anbelangt", schreibt mir sein Sohn Richard, „so fand derselbe abgesehen von den Mahlzeiten hauptsächlich auf Spaziergängen statt, wo er uns sehr häufig mitnahm. Bei schlechtem Wetter Rohrbacher Landstrasse, sonst meist Wolfshöhle, Gaisberg, Sprung, Philosophenweg etc. Besondere Freude machte es ihm, wenn er uns irgend ein Naturphänomen vorführen konnte; einen dick-nebeligen Herbstmorgen, wo er erkannte, dass oben Sonnenschein war und uns auf den Sprungweg führte, das wolkenartig zusammengeballte, vollständig scharf abgegrenzte Nebelmeer, aus dem nur einige Thurmspitzen hervorschauten, werde ich nie vergessen . . . In seinem ersten Heidelberger Laboratorium, im „Riesen", waren wir einmal mit, zum Zwecke der Auffüllung unserer schlaff gewordenen Kinderluftballons mit Wasserstoff. Im Winter 1862 brachte mir der Vater das Zeichnen mit dem Reisszeug bei, und 1863 suchte uns der Vater die Grundbegriffe des Generalbasses klar zu machen, was wenigstens bei meiner Schwester gut gelang; ja sogar das Schwimmen lehrte mich der Vater ohne Stange, Leine und Schwimmgürtel, bloss indem er mich mit einem Arme an der Brust unterstützte . . . In den Ferien 1863 waren wir wieder in dem uns sehr lieb gewordenen Dahlem, und nach unserer Rückkehr war der Umzug in den Friedrichsbau bereits vollzogen; Käthe wohnte von nun ab eine Treppe hoch bei den Eltern, die Grossmama Velten mit mir in drei Zimmern des Entresols, nach hinten gegen die Anatomie... Mit dem folgenden Jahre begannen für mich häufige Besuche bei den Grosseltern Mohl in Frankfurt a. M., wo ich stets

auf das freundlichste aufgenommen wurde, meist in den Ferien oder auf der Reise nach und von Berlin."

In den Osterferien führte nun Helmholtz in der That die geplante, mehrwöchentliche Reise nach England aus und besuchte auf dem Wege nach London in Utrecht seinen Freund Donders, den er „blühend, liebenswürdig und poetisch wie immer" fand, und in dessen Hause er sich einige Tage sehr wohl fühlte.

„... Dann gingen wir", schreibt er am 14. März 1864 seiner Frau, „in ein Herrenconcert, d. h. in die Probe zu den grösseren Orchesterconcerten, wozu noch einzelne Soli kommen, die in den grossen Concerten wegbleiben, und welche von den Utrechter Herren bei Wein und Cigarren angehört werden ... Ich hörte symphonische Präludien von Liszt, die merkwürdig und effectreich genug, aber kaum schön waren, die Oberon-Ouverture sehr gut, und dazwischen als Solo für Clavier die variations sérieuses von Mendelssohn im Kirchenstyl, die sehr schön waren, und die ich Dir zum Studium vorschlagen möchte... Donders hat hier Vorlesungen vor gemischtem Publikum über Akustik gehalten, und deshalb ist mein Buch über Tonempfindungen hier Jedem bekannt, auch den Musikern. O. Jahn hatte es nicht verstehen können, hoffte es aber mit G. zusammen studiren zu können und erzählte mir, dass er einen enthusiastischen Brief darüber von Claus Groth bekommen habe ..."

Ueber Brüssel reiste er nun nach London, wo er sich sogleich der liebenswürdigsten Aufnahme seines Freundes Bence Jones erfreute; von dort aus sandte er seiner Frau ausführliche Berichte, aus denen einiges von dem, was von allgemeinerem Interesse ist, hier eine Stelle finden mag:

„... Ich habe mich in den Strudel des grossen Babel gestürzt und schwimme vorläufig rüstig darin herum. Nachdem ich neulich Deinen Brief in der Royal Institution

geschrieben und vergebens auf Tyndall gewartet hatte, besuchte ich Faraday, der ebenda wohnt; er war wie in alter Zeit äusserst liebenswürdig, hat aber seine Vorlesungen aufgegeben, weil er über sein Gedächtniss klagt; er machte in der That einen etwas stumpferen Eindruck als sonst ... Dann ging es zur Versammlung der Royal Society, wo Tyndall einen Vortrag hielt über einige neue sinnreiche Versuche, die er gemacht hat, deren Deutung aber Anlass zu einer längeren Debatte gab. Nachdem ich mit Professor Stokes am Freitag nach Ostern in Cambridge zu sein verabredet hatte, ging ich noch um 11 Uhr mit B. Jones auf einen Rout zum Minister Gladstone ...

Gestern habe ich mehr gearbeitet; am Vormittag an meiner Croonian Lecture geschrieben; um 12 Uhr hatte ich Professor Tyndall in der Royal Institution zu treffen, um die Vorbereitungen zu meinen ersten beiden Vorlesungen zu besprechen; zur zweiten habe ich selbst ein Gemälde in Wasserfarben angefertigt, darstellend einen Sonnenflecken von der Seite gesehen, wobei ich in kühnen Farben und Wolken mit Turner zu wetteifern strebte ... Am Mittwoch habe ich Vormittags gearbeitet, dann ging ich in das College of Surgeons, um Mr. Huxley zu sehen, Professor der Zoologie, der jetzt hier der Hauptkämpfer für die Aufklärung und gegen die biblische Naturgeschichte ist, ein junger, sehr intelligenter Mann, den ich von früher schon kannte ...

Gestern bin ich früh nach Oxford gefahren und wohne bei Max Müller. Er ist ein junger, eleganter und gewandter Mann, wie ich noch keinen Professor der Philologie gesehen habe, und fasst alles, auch die ihm fremderen naturwissenschaftlichen Verhältnisse, ausserordentlich schnell auf. Seine Frau ist eine Engländerin, auch sehr liebenswürdig, unterrichtet und hübsch, so dass ich zwei sehr angenehme Tage dort zugebracht habe. Dazu kommt, dass

Oxford vielleicht einzig in der Welt ist in seiner Art; alle die vielen alten, charakteristisch schönen und wohl gepflegten Gebäude zusammen mit sauberen Grasplätzen und schönen Bäumen; alles höchst stattlich und von ausserordentlichem Reichthum zeugend. Man kann sich bei uns freilich keine Idee davon machen, ehe man es gesehen hat, und ich begreife nun auch die Liebe der Engländer zu der Universität, auf der sie gewesen sind. Um Gentlemen gut auszubilden, ist es offenbar vortrefflich geeignet, für die Wissenschaft aber kann nicht viel herauskommen, und es gehört offenbar ein ungewöhnlich starkes Interesse für die Wissenschaft dazu, um als Fellow nicht in Trägheit zu versinken . . .

Meine Fahrt nach Glasgow ging ganz angenehm von Statten . . . Thomson's haben seit kurzer Zeit ihre Dienstwohnung hier im Universitätsgebäude eingerichtet und bezogen, während sie bisher mehr auf dem Lande zu leben pflegten. Er selbst hat gar keine Ferien zu Ostern, dagegen ist sein Bruder James, Professor of Engineering in Belfast, und ein Neffe, Student ebenda, eingetroffen. Ersterer ist ein sehr gescheidter Kopf mit sehr guten Einfällen, aber hört und weiss nichts als engineering und spricht fortdauernd davon zu allen Zeiten des Tages und der Nacht, so dass kaum ein anderes Gespräch in seinem Beisein aufkommen kann. Es ist übrigens komisch, wie jeder der Brüder fortdauernd dem anderen etwas auseinandersetzt, und keiner auf den anderen hört, und von ganz verschiedenen Gegenständen redet. Aber der engineer ist von beiden der hartnäckigste und setzt sein Stück gewöhnlich durch. Inzwischen habe ich eine Menge neuer und sehr sinnreicher Apparate und Versuche von W. Thomson gesehen, die mir die beiden Tage sehr interessant gemacht haben. Er ist aber so schnell in seinen Gedanken, dass man ihm erst durch eine lange Reihe von Fragen, zu deren Beantwortung er schwer zu bringen ist, die nöthigen Angaben über die Einrichtung der Instrumente u. s. w.

herauswinden muss. Wie seine Studenten ihn verstehen, die ihn nicht so festhalten können bei der Sache, wie ich es mir erlauben durfte, begreife ich nicht; übrigens war aber eine ganze Anzahl Studenten in dem Laboratorium beschäftigt, welche sehr eifrig waren und im Ganzen auch begriffen zu haben schienen, um was es sich handelte . . . Bei Thomson's Experimenten ist übrigens mein neuer Hut ums Leben gekommen. Er hatte eine schwere Metallscheibe in sehr schnelle Rotation versetzt, die auf einer Spitze sich drehte; um mir zu zeigen, wie unbeweglich sie durch die Rotation werde, schlug er mit einem Hammer dagegen, was die Scheibe aber doch übelnahm, indem sie in einer Richtung davonflog, und der eiserne Fuss, auf dem sie sich drehte, in einer anderen. Letzterer nahm meinen Hut mit fort und schlitzte ihn auf. Die Scheibe selbst zertrümmerte glücklicher Weise nur einige Gläser . . .

Ich kam am 4. April in Manchester an; Roscoe's wohnen weit draussen in einer reizenden Cottage am Rande eines grossen Parkes . . . Zum Diner hatte Roscoe zwei Freunde, Mr. Joule, Brauer und Haupterfinder der Erhaltung der Kraft, und seinen Collegen Clifton, Physiker, eingeladen, beides sehr angenehme und lebhafte Leute, so dass unser Abend sehr interessant war . . . Am Sonntag Vormittag waren wir beide nach dem Frühstück allein und haben Pläne für kühne neue physikalisch-chemische Untersuchungen gemacht und die englischen Universitäten besprochen, wobei wir ganz zusammenstimmten . . .

Gestern war ich in London bei Mr. Graham, Master of the Mint, einem der ersten Chemiker Englands, der mich zuerst selbst herumführte und mir alles erklärte. Am interessantesten war mir Graham's eigenes Laboratorium, wo er mir eine Menge der merkwürdigsten neuen Versuche zeigte und mich mit Münzen, Instrumenten und Chemikalien reich beschenkte . . . Mit einem alten Berliner Freunde

fuhr ich zu Professor Maxwell nach Kensington, dem Physiker von Kings College, einem sehr scharf mathematischen Kopfe, der mir sehr schöne Apparate zur Farbenlehre zeigte, in welchem Zweige ich früher selbst gearbeitet hatte; er hatte einen farbenblinden Collegen eingeladen, an dem wir Experimente machten . . ."

Mitten in die Anregungen, welche Helmholtz's Interesse nach allen Seiten wachriefen, sowie in die intensive Arbeit, welche die Vorbereitung zur Croonian lecture und zu anderen in Aussicht genommenen Vorträgen erforderte, fielen die ersten Schatten der verhängnissvollen Erkrankung seines Sohnes Robert. „Die ergreifende Kindergeschichte dieses an Prüfungen so reichen und dennoch an Geisteserfolgen und Herzensbesitz so gesegneten Lebens setzt hier ein mit dem von Anbeginn muthig und hochsinnig getragenen Erkennen der Muttersorge." Trotzdem waren aber die Berichte seiner Frau in schonendster Weise abgefasst, um Helmholtz von einer sofortigen Rückkehr nach Heidelberg abzuhalten, und dieser durfte die Hoffnung hegen, dass durch die Rathschläge, welche er selbst gab, und durch die von den befreundeten Aerzten angewandten Mittel sehr bald eine Besserung in dem Leiden eintreten würde.

Am 14. April 1864 hielt Helmholtz seine Croonian lecture in der Royal Society „On the Normal Motions of the Human Eye in relation to Binocular Vision" und gab einen Abriss der über den Horopter und die Augenbewegungen von ihm gewonnenen Resultate.

„Es war 10 Uhr, ehe ich mit dem ersten Theile meines Vortrages fertig war. Ich brach deshalb ab und verliess die Tribüne. Doch wurde auf den Antrag von General Sabine als Präsidenten beschlossen, ich solle weiter sprechen, und so habe ich noch über die Bewegungen des menschlichen Auges und ihre Beziehungen zu den Gesichtswahrnehmungen bis 10½ Uhr gepredigt, wo ich ziemlich zu Ende

war. Doch beruhigte mich, dass noch verschiedene Herren nach mir aufstanden und eigene zustimmende Beobachtungen zum Besten gaben. Sabine hielt mir eine Dankrede, in der er besonders meine Fertigkeit im Englischen lobte. Es floss aber auch wie ein Waldstrom von meinen Lippen, zuletzt aber konnte ich kaum noch laut reden.“

Ausserdem hielt er in der Zeit seines vierwöchentlichen Aufenthaltes in England sechs populäre Vorlesungen in London „Lectures on the Conservation of Energy“, über welche er du Bois am 15. Mai von Heidelberg ausführlichen Bericht erstattet, damit zugleich die Mittheilung verbindend, dass ihm am 24. April eine Tochter geboren sei, welche die Namen Ellen Ida Elisabeth erhalten habe:

„Ich war sechs Wochen in England, meist in London, in der Osterwoche auch in Oxford, Glasgow und Manchester. Ich habe viel Interessantes gesehen und finde von Zeit zu Zeit einen Aufenthalt in London immer wieder anregend und angenehm. Was die populären Vorlesungen in der Royal Institution betrifft, so muss ich Dir aber in der That Recht geben, dass man sich immer mehr wird besinnen müssen, ehe man dergleichen wieder übernimmt. Ich habe durchaus keine Ursache, mit dem äusseren Erfolge der meinigen unzufrieden zu sein, da ich fortdauernd ein Publicum von 300 Leuten und darunter eine Menge wissenschaftlich gebildeter Männer hatte. Aber die Concurrenz der populären Vorlesungen in London ist so gross, dass sie im Begriff sind, in die allergemeinste Effecthascherei herabzusinken . . . Tyndall hat in der That ein ausgezeichnetes Talent für populäre Vorträge und ist im Publicum sehr anerkannt. Ein Medium für Klopfgeister liess neulich seinen Namen im Himmel buchstabiren, welcher war „Poet of science“ . . . Da ich fand, dass die Meinung ganz verbreitet war, Deine Versuche seien zu subtil, um sicher zu gelingen, so habe ich Gelegenheit genommen, in

meiner letzten Vorlesung noch einige Deiner Fundamentalversuche zu zeigen."

Dieser Freundschaftsdienst gegen du Bois hat Helmholtz mancherlei Unannehmlichkeiten bereitet; durch einige Ausdrücke, die in dem Report der Helmholtz'schen Vorlesung in der Medical Times vorkamen, glaubte sich Matteucci unrechtmässig hintangesetzt und liess Helmholtz eine Abschrift seiner Reclamation zukommen, welche er an den Editor des Journals gesendet hatte. Helmholtz verfasste nun „eine möglichst höfliche Antwort", in welcher er Matteucci zugiebt, was ihm in Wirklichkeit zukommt, und auseinandersetzt, warum er du Bois und nicht ihn genannt habe:

„Sie müssen entschuldigen, dass ich nicht schweigen konnte über das Urtheil, das Sie in Ihrem Briefe über die Forschungen meines Freundes du Bois-Reymond gefällt haben; dieser ist seit vielen Jahren ein sehr naher Freund von mir, und es war meine Pflicht, zu accentuiren, wie sehr ich seine Forschungen schätze. Ich will nicht versuchen, die Art zu rechtfertigen, wie er Ihre Forschungen kritisirt hat, und ich kann Sie versichern, dass ich es ihm oft selbst gesagt habe." Bei grösster Anerkennung der Verdienste Matteucci's, welcher zuerst die schwierige Materie der thierischen Elektricität in Angriff genommen, bestreitet er gesagt zu haben, dass die von ihm besprochenen Versuche vor den Vorlesungen von du Bois überhaupt noch nicht gemacht, sondern nur, dass sie in England nicht häufig ausgeführt worden seien. Mit Bezug auf eine Stelle des Matteucci'schen Briefes schliesst er mit den Worten:

„Was Ihre politischen Allusionen betrifft, so kann ich Sie versichern, dass in der protestantischen Bevölkerung Deutschlands, zu der auch ich gehöre, nicht die geringste Spur von Antipathie gegen Italien und die Italiener besteht, sondern eine warme Sympathie mit jedem Fortschritt in der

italienischen Freiheit. Unter unseren Katholiken sind natürlich viele Fanatiker, die alles auf dem Altar der römischen Hierarchie opfern würden.“

Nach seiner Rückkehr aus England legte er noch, bevor er seine physiologisch-optischen Untersuchungen wieder aufnahm, am 23. Mai 1864 der Berliner Akademie eine Arbeit „Versuche über das Muskelgeräusch“ vor, deren Gegenstand für ihn ein akustisches und muskelphysiologisches Interesse hatte, und die er am 15. Mai du Bois mit dem Bemerken überschickte: „Sie enthält nur die Resultate gelegentlich angestellter Versuche, die aber doch vielleicht hier oder da nützlich sein können.“ Der schon längst von Grimaldi, Wollaston und Erman in stiller Nacht an den Muskeln beobachtete leise Ton wurde trotz seiner grossen Bedeutung für die Herztöne doch erst von Helmholtz genauer untersucht. Indem er die Zusammenziehung der Muskeln durch einen Inductionsapparat mit schwingender Feder hervorbrachte, der so weit entfernt war, dass man von seinem Tone nichts vernehmen konnte, hörte er bei genügend grosser Stromstärke deutlich einen Ton, der, wie er sich überzeugte, nicht in Folge einer Reibung des Muskels an den umliegenden Theilen oder dieser an einander entstanden sein konnte. Die Existenz desselben hielt er für einen directen Beweis der von du Bois aufgestellten Ansicht, dass die elektrischen Wirkungen der Muskeln auf die Existenz sehr kleiner elektromotorischer Molekeln zurückgeführt werden müssen. Er fand, dass, wenn eine Stimmgabel von 120 Schwingungen den Strom unterbrach, er im Muskel verhältnissmässig stark auch den Ton von 240 Schwingungen hörte. Es ergab sich ferner aus den fortgesetzten Versuchen, die er am 20. Juli 1866 dem naturhistorisch-medicinischen Verein in Heidelberg vorlegte, das wichtige Resultat, dass unser Rückenmark, sobald wir einen Muskel zusammenziehen wollen, demselben 18 bis 20 Reize in jeder Secunde ertheilt, so dass nur seine Obertöne hörbar sind. Helmholtz nahm diese

Untersuchungen später nicht mehr auf; eine Andeutung Ludwig's, dass er über diesen Gegenstand in seinem Laboratorium arbeiten lassen wolle, beantwortet Helmholtz am 4. December 1866 mit den Worten:

„Ihr braucht Euch nicht zu geniren, über den Herzmuskel zu arbeiten; ich selbst hoffte Aufschlüsse über die Actionen des Rückenmarkes bei der willkürlichen Bewegung daraus zu erhalten, habe aber wenig Hoffnung mehr, weil die Bewegung zu unregelmässig ist. Sie ist nur ein Geräusch, welches sich einem musikalischen Tone nähert, das heisst eigentlich einem unhörbaren Grundtone von etwa 19 Schwingungen. Die Resonatoren, die ich anzuwenden versucht habe, haben mir gar nichts geholfen."

Nun wandte sich Helmholtz wieder ganz der physiologischen Optik zu. Die wichtigen Arbeiten Hering's über die Raddrehung nöthigten ihn, da er für die Ausarbeitung des Capitels über die Gesichtswahrnehmungen in seinem Lehrbuch eine gründliche Durcharbeitung aller Untersuchungen über den Horopter und die Bewegungen des Auges anstellen musste, auf seine früheren Arbeiten über diesen Gegenstand wieder zurückzukommen. Er ging in einem am 25. November 1864 im naturhistorisch-medicinischen Verein zu Heidelberg gehaltenen Vortrage „Ueber den Einfluss der Raddrehung des Auges auf die Projection der Retinabilder nach aussen" auf den von Hering aufgestellten Satz näher ein, dass wir die Objecte so projiciren, als wenn die Netzhautbilder sich in einem in der Mitte zwischen beiden wirklichen Augen gelegenen ideellen Auge befänden, dessen Gesichtslinie nach dem Convergenzpunkte der beiden wirklichen Gesichtslinien gerichtet ist. Eine Erklärung für denselben suchte er darin, dass wir beim gewöhnlichen Sehen keine bewusste Trennung der Eindrücke beider Augen bewerkstelligen und die Richtung der Gegenstände daher auch nicht auf je ein oder das andere Auge, sondern auf den Kopf und dessen Mittelebene beziehen lernen. Dagegen

glaubt er die Annahme von Hering, dass die Projection der Objecte immer so vollführt wird, als ob gar keine Raddrehung da wäre, dadurch ersetzen zu müssen, dass man die Objecte so sieht, wie das ideelle Auge sie sehen würde, wenn es die normalen Drehungen eines Auges mitmachte, welches auf den Convergenzpunkt der beiden Gesichtslinien gerichtet ist, und dessen Drehung also immer nahehin dem Mittel aus den Raddrehungen beider Augen zusammengenommen entsprechen würde.

Er legt sich endlich noch bezüglich dieser äusserst schwierigen Probleme in einem am 13. Januar 1865 gehaltenen Vortrage „Ueber die Augenbewegungen" die Frage vor, wie die Erscheinung zu erklären sei, dass sich normale Augen unter gewöhnlichen Verhältnissen nur so bewegen können, wie sie sich bewegen müssen, um beide ein und denselben Punkt zu fixiren und deutlich zu sehen, also gleichzeitig nach oben oder unten, rechts oder links. Während bisher angenommen wurde, dass die Wege der Nervenleitung zu den Muskeln in der Weise verbunden seien, dass nur diese bestimmten Bewegungsgruppen entstehen können, schliesst Helmholtz auf Grund vielfacher Versuche, nach denen man auch lernen kann, das eine Auge nach oben, das andere nach unten zu richten, dass der Zwang in der Combination der verschiedenen Augenbewegungen nur davon herrührt, dass wir die Intention unseres Willens auf keinen anderen Zweck richten können als den, ein bestimmtes Object einfach und deutlich zu sehen, und dass wir deshalb abnorme Augenbewegungen ausführen lernen, sobald wir die Augen unter abnormen Bedingungen sehen lassen. Helmholtz zeigt noch in Uebereinstimmung mit dem von ihm gegebenen Beweise des Listing'schen Gesetzes durch interessante Versuche mit rotirenden Prismen, dass eine abnorme Raddrehung stattfinden kann, die sofort wieder aufhört, wenn die abnormen Bedingungen entfernt werden, und dass daher auch die Raddrehung der Augen dem Willen

unterworfen ist und vollzogen werden kann, sobald sie nöthig ist.

Im Zusammenhange mit diesen Untersuchungen behandelte er in einem Vortrage am 30. Juni 1865 die von ihm angestellten Versuche „Ueber stereoskopisches Sehen". Mit Hülfe eines von ihm construirten Stereoskops, welches keine Prismen, sondern nur Linsen enthält und eine doppelt so starke Vergrösserung hervorbringt, als die gewöhnlichen Stereoskope, zeigt er — während man bisher bei den stereoskopischen Bildern nur berücksichtigte, dass die horizontalen Abstände der einzelnen Objectpunkte beiden Augen verschieden erscheinen — wie auch der Umstand Einfluss auf die stereoskopische Projection hat, dass die verticalen Abstände nach rechts gelegener, senkrecht über einander befindlicher Punkte dem rechten Auge grösser als dem linken erscheinen müssen.

Das Jahr 1865 brachte ihm wieder eine Reihe äusserer Anerkennungen; auch konnte er am 30. April Ludwig mittheilen, dass er den schon einige Zeit in Aussicht stehenden Ruf an das Josephinum nach Wien in höflichster Weise definitiv abgelehnt habe, „ohne weiter die Antwort von Karlsruhe abzuwarten, ob man ihm von dort gewisse kleine Wünsche, die er noch hatte, erfüllen würde oder nicht". Der badische Minister Jolly bewilligte ihm im Juli alles, was er wünschte, mit den Worten: „Man redet uns zwar allerhand schlimme Reactionsgelüste nach, so schlimm steht es aber doch noch nicht mit der neuen Aera, dass sie nicht alles thäte, um den Glanz von Heidelberg zu erhalten."

Aber mehr als alle diese äusseren Ehrenbezeugungen freute es ihn, dass kaum zwei Jahre nach dem ersten Erscheinen das Bedürfniss nach einer neuen Auflage seiner Lehre von den Tonempfindungen sich fühlbar machte. Wieder war sein Freund Ludwig der erste, dem er im Februar 1865 die zweite Auflage seines Werkes überschickt,

und der von Neuem sich voller Bewunderung über die grossartige Schöpfung von Helmholtz äussert, jedoch die nachfolgende Stelle in dessen Werke beanstanden zu müssen glaubt:

„Unter unseren grossen Componisten stehen Mozart und Beethoven noch am Anfange derjenigen Periode, in welcher die Herrschaft der gleichschwebenden Temperatur beginnt. Mozart hat noch Gelegenheit gehabt, reiche Studien in Gesangcompositionen zu machen. Er ist Meister des süssesten Wohllauts, wo er ihn haben will, aber er ist darin auch fast der Letzte. Beethoven hat mit kühner Gewalt Besitz ergriffen von dem Reichthum, den die ausgebildete Instrumentalmusik hervorbringen konnte, seinem gewaltigen Willen war sie das gefügsame und zu allem bereite Werkzeug, in welches er eine Gewalt der Bewegung zu legen wusste, wie vor ihm Keiner. Die menschliche Stimme aber hat er als dienende Magd behandelt, und deshalb hat sie ihm auch nicht mehr die höchsten Zauber ihres Wohlklanges gespendet.“

Gegen diese Ansicht lehnt sich nun Ludwig auf, dem Helmholtz am 30. März 1865 antwortet:

„In Deinem ersten Briefe aus Leipzig opponirst Du gegen meine Aeusserungen über Beethoven; ich hätte vielleicht nicht bloss kritisch über ihn sprechen sollen, um nicht missverstanden zu werden, denn auch ich finde, dass er der gewaltigste und erschütterndste aller Componisten ist, und ich selbst spiele auch fast nichts, wenn ich einmal spiele, als Beethoven'sche Sachen. Und wenn ich über die Mittel der musikalischen Bewegung zu sprechen gehabt hätte, würde ich ihn auch allen anderen vorangestellt haben. Ich hatte aber vom Wohlklang und der feinen künstlerischen Schönheit des Flusses der Harmonie ausschliesslich zu reden, und da glaube ich allerdings, dass Mozart der Erste ist, wenn er uns auch nicht so mächtig erschüttert. Und überhaupt, wenn man älter wird und mehr und mehr Narben

an der Seele mit herumträgt, hört man auf, die Erschütterungen als das Grösste in der Kunst zu betrachten.“

Ernster und gewichtiger waren die Einwände und Zweifel, welche der von Helmholtz so hoch geschätzte geistvolle Forscher Fechner in einem Schreiben vom 6. Juni 1869 ihm entgegenhielt:

„Die gerechte Bewunderung, welche die Welt, mich selbst eingeschlossen, Ihren Arbeiten zollt, hat durch Ihre Tonlehre nur gesteigert werden können. In dem bindenden Zusammenhange von Thatsachen und Schlüssen, auf den sich dieselbe stützt, ist mir nur ein Punkt nicht vollständig liquid erschienen, und da ich mich in einer Schrift über Elemente der Aesthetik, an der ich arbeite, darauf zu beziehen habe, so möchte ich mich gern auf eine authentische Erklärung von Ihnen darüber beziehen und meiner eigenen Unsicherheit über diesen Punkt steuern. Sie erklären die melodischen Beziehungen der Töne nicht minder als die harmonischen durch das Dasein von Obertönen, und, wenn ich Ihre Ansicht richtig fasse, obwohl ich dessen nicht ganz sicher bin, würden ohne das Dasein von Obertönen zwei Töne sich nicht anders, nur in anderer Richtung, nach ihrer Höhe als nach ihrer Stärke unterscheiden, hiermit die so eigenthümlichen und abgestuften Verwandtschafts- und Verschiedenheitsbeziehungen zwischen den Tönen, die wir als melodische bezeichnen, wegfallen. Eine Octave erscheint deshalb dem Grundtone so ähnlich, weil der Grundton alle Partialtöne der Octave in seinen Obertönen enthält, die Quinte deshalb weniger ähnlich, weil eine minder vollständige Coincidenz in dieser Hinsicht stattfindet u. s. w. Diese Auffassung ist unmittelbar so einleuchtend und fügt sich den factischen Verhältnissen der Töne bei den üblichen Instrumenten so vollständig, dass das Columbus-Ei damit gefunden scheint. Man sagt sich, es muss aus der grösseren oder geringeren Coincidenz der Theile der Töne eine grössere oder geringere Verwandtschaft der ganzen Töne für die

Empfindung resultiren. Aber ich weiss nicht damit fertig zu werden, dass durch die Verwandtschaft der Octave mit dem Grundton die melodischen Beziehungen der Töne überhaupt, noch ganz ebenso deutlich bei den Tönen von Stäben, Platten und Glocken als bei den Saiteninstrumenten und der menschlichen Stimme hervortreten, ungeachtet bei Instrumenten jener Art nach Ihrer Bemerkung die Obertöne musikalisch vernachlässigt werden können oder, sollten sie in Rücksicht kommen, ganz abweichende melodische Beziehungen bedingen müssten . . .“

Helmholtz erwidert ihm am 3. Juli:

„. . . 1) Eine schwache Begleitung von harmonischen Obertönen ist wenigstens bei allen starken einfachen Tönen immer vorhanden. Sie entstehen nach demselben Princip, wie die Combinationstöne, theils gelegentlich ausserhalb des Ohres, theils regelmässig im Ohre, so oft die Schwingungen so gross werden, dass die elastischen Kräfte den Verschiebungen nicht mehr genau proportional bleiben. Dass im Ohr besonders günstige Verhältnisse hierfür gegeben sind, dass sogar Klirrtöne zwischen Hammer und Amboss entstehen können, haben mich meine Untersuchungen über die Mechanik des Ohres (Pflüger's Archiv f. Phys., Bd. I) gelehrt. Ich habe dies in der ersten Ausgabe meiner Tonempfindungen wohl nicht genug hervorgehoben, und es bestimmter gethan in der neuen, deren Manuscript ich vor Kurzem an Vieweg gesendet habe, und deren Druck jetzt beginnen soll. Dadurch bekommt nun unverkennbar die Reihe der harmonischen Obertöne noch eine neue subjective Bedeutung. Ich hatte sie ursprünglich nur charakterisirt als die Reihe, welche bei allen genau periodischen Schwingungen, die dauernd gleichmässige Empfindung erregen, vorkommt.

2. Glaube ich aber doch, dass eine Melodie wiedererkannt werden kann, wenn sie in schwachen einfachen Tönen ausgeführt wird, ohne dass hierbei Obertöne von

wahrnehmbarer Stärke eintreten. Aber ich glaube andererseits, Musik wäre nie erfunden worden, wenn den Tönen immer die Beziehungen der Obertöne in der Weise fehlten, wie sie es in den Farben thun. — Tonhöhen und Tonintervalle können im Gedächtniss aufbewahrt und wiedererkannt werden, auch wo ihnen einmal ganz und gar die Merkzeichen, nämlich die Obertöne, fehlen, die ihnen die hervorstechende Bedeutung vor den benachbarten Tonintervallen geben, und auf denen die unmittelbare sinnliche Controlle ihrer richtigen Grösse beruht. Wenn Sie damit einen Fall vergleichen, wo wir einen gewöhnlich rothen Gegenstand einmal weiss sehen, so haben wir im letzteren Falle eine positiv neue Empfindung, die sonst fehlt. Fehlen uns die Obertöne bei einem melodischen Intervall, so kommt nichts Neues hinzu, es fehlt uns nur ein gewöhnlich vorkommender, bald schwach, bald stark entwickelter Theil der Empfindung, der uns über die Grösse des Intervalls sicherer macht, als die Erinnerung. Aber es tritt nichts Neues, Fremdes an die Stelle. Ich möchte die Sache eher vergleichen mit der binocularen Betrachtung eines Objects und mit der eines Bildes. Jene giebt wie eine Melodie mit Obertönen Momente in der Empfindung, welche ganz bestimmt entscheiden lassen über die Tiefendimensionen; das Bild giebt diese nicht, wie die Melodie ohne Obertöne; aber wir können uns, wenn wir das Object gut kennen, daraus doch eine hinreichend lebendige Anschauung bilden, und unter vielen Umständen ist es sogar schwer zu erkennen, ohne directes Experiment, ob binoculares Sehen unsere Tiefenanschauung unterstützt oder nicht. Mir scheint das Wesentliche zu sein, dass Melodie Bild einer Bewegung ist, und dass in unmittelbarer sinnlicher Empfindung eine Messung der Distanzen der Tonhöhe möglich gemacht ist. Kennen wir nun aus der Erinnerung ein Intervall als ein bekanntes, so können wir im einzelnen Falle die messenden Kennzeichen entbehren, ohne darum ganz irre zu werden,

wenn auch dadurch der Eindruck der Melodie etwas von der Mattigkeit des Erinnerungsbildes erhält. Dagegen muss ich nach eigener Erfahrung behaupten, dass Töne mit unharmonischen Nebentönen, wenn diese nicht sehr schwach oder sehr weit entfernt vom Obertone sind, nur ganz falsch klingende Melodien geben, die allerdings als Copien richtiger Melodien durch die Erinnerung wieder erkannt werden können. Das Princip, was Sie verlangen, um das unterschiedslose Zusammenfliessen der Obertöne zu verhindern, und dann wieder das Verhältniss der Töne in der Melodie geben soll, ist, wie ich meine, gegeben in der Thatsache (oder Hypothese), dass verschieden hohe Töne verschiedene Nervenfasern afficiren.“

Harmonisch tönt die Unterhaltung der beiden grossen Naturforscher in dem Antwortschreiben Fechner's vom 12. Juli aus:

„Vor Allem habe ich Ihnen für die freundliche Weise zu danken, mit der Sie auf meine Zweifel eingegangen sind. Das Hauptbedenken, was ich erhob, hätte ich mir freilich selbst so lösen sollen, wie Sie es gethan haben; kann auch nicht umhin, das Beispiel, was Sie an die Stelle des von mir gewählten zur Erläuterung der hier einschlagenden Associationsverhältnisse setzen, der Sachlage entsprechender zu finden als meines . . . Jedenfalls werde ich mich wohl zu hüten haben, selbst, wenn schliesslich ein Zweifel für mich bleiben sollte — denn von mehr könnte nicht die Rede sein — einer übrigens so einleuchtenden Theorie und Ihnen damit zu widersprechen, der Sie in der Sache zu Hause sind und die alleinige Autorität haben. Nur wiederholen aber kann ich den Wunsch, dass Sie selbst einmal gelegentlich diesen Gegenstand einer etwas eingehenderen Besprechung unterziehen möchten, als er in Ihrem Werke gefunden, da Ihnen mein Beispiel zeigt, dass denen, die nicht ganz in der Sache zu Hause sind, sonst leicht ebensolche Schwierigkeiten kommen könnten.“

Die Beschäftigung mit der physiologischen Optik erlitt nur eine ganz vorübergehende Unterbrechung durch seine Eis- und Gletscheruntersuchungen. Er hatte zunächst zu deren Begründung im naturhistorisch-medicinischen Verein in Heidelberg am 24. Februar 1865 in einem Vortrage „Ueber Eigenschaften des Eises" die Frage nach der Ursache des Phänomens der Regelation des Eises erörtert, um dann noch in demselben Monat in einem öffentlichen Vortrage „Eis und Gletscher" nach einer einleitenden ausgezeichneten Schilderung der Gletscherwelt auf die damals sehr viel erörterte Frage der Bewegung der Gletscher näher einzugehen. Nach der Lectüre des Vortrages schreibt ihm du Bois am 8. Juni 1866:

„. . . Du siehst, ich bin etwas rabiat; das ist stets der Fall, wenn ich mit meiner Arbeit nicht vom Flecke komme, namentlich wenn ich noch dazu Andere so eine schöne Sache nach der anderen aus dem Aermel schütteln sehe. Dein Versuch mit dem luftleeren Kolben am Schlusse des ersten Heftes Deiner gemeinfasslichen Vorträge, welche denen Bessel's ebenso an Schärfe gleich kommen, wie sie sie an Schönheit des Ausdruckes und an Umfang des Vorstellungsgebietes übertreffen, erfüllt mich mit jenem Neide, der in die Bewunderung überschlägt. Der gute Tyndall wird sich nicht wenig wundern, selbst in Gletschersachen einen Meister in Dir zu finden."

Blaserna schildert in einer mir vor Kurzem gemachten Mittheilung diese Beobachtungen an Eis und Gletschern auf seinen mit Helmholtz gemeinsam unternommenen Wanderungen:

„Seit jener Zeit (1870) wurden wir Freunde, wir trafen uns beinahe alle Jahre im Engadin, wohnten in demselben Hotel Saratz in Pontresina, machten sehr viele Besteigungen und Spaziergänge, verlebten alle Jahre vier bis sechs Wochen zusammen und hatten Gelegenheit, uns, so zu sagen, über alles auszusprechen. Ich kann gar nicht sagen, mit welchem

Vergnügen ich an jene Zeiten zurückdenke, in denen sein hoher Geist, seine stets bereite Mittheilsamkeit und sein nobles Wesen immer zu meiner Verfügung standen. Unser gemeinschaftliches Leben in Pontresina war sehr einfach und regelmässig. Helmholtz war nicht einer von jenen Bergsteigern ersten Ranges, denen alle schon bekannten Touren zu wenig sind, und die sich gerne nur auf neue Besteigungen einlassen. Aber er liebte es sehr, auf Berge und Gletscher zu steigen und von ihrer Höhe die wundervolle Aussicht zu geniessen, die die Natur in so reichem Maasse bietet. Er war ein kräftiger und sicherer Steiger, dem es auf vier bis sechs Stunden Steigung nicht ankommt. Ich war ungefähr von derselben Force, so dass wir sehr oft unsere Touren zusammen machten. Ich bewunderte sehr seine Elasticität und sagte immer, dass ich nicht in der Lage sein würde, das zu leisten, was er leistete, sobald ich sein Alter erreicht hätte.

Sehr interessant war es, mit ihm Gletscher zu begehen. Sein Auge war überall, und alles, was das Eis bieten konnte an merkwürdigen Erscheinungen und Formationen, wurde sogleich Gegenstand seiner Untersuchungen. Seine Studien über Gletscher und Eis, die veröffentlicht wurden, sind offenbar so entstanden. Mich fesselte am Gletscher mehr das Gefühl der grossen, erhabenen Natur, wo die Zeit sich so langsam abspielt, und die der Mensch nur durch seinen Muth, durch seine Ausdauer und durch seine Intelligenz sich schliesslich unterworfen hat; aber ich hörte Helmholtz mit grossem Interesse zu, wenn er von seinen Untersuchungen sprach, und gestehe mit Vergnügen, viel von ihm gelernt zu haben. Eine kurze Theorie der grossen Eisperiode, die ich veröffentlichte und in der ich zum Schlusse komme, dass zur Zeit der grössten Entwickelung der Montblanc-Gletscher die mittlere Temperatur jener Region etwa 1 bis 2° höher war als jetzt, war eine Folge unserer Gespräche.“

In der oben erwähnten Arbeit, die auch im folgenden Jahre im Philosophical Magazine unter dem Titel „On the Regelation of Ice“ erschien, bestätigte Helmholtz durch Versuche die von James Thomson gegebene Erklärung für das Phänomen der Regelation des Eises von Null Grad, wonach zwei Eisstücke beim Aneinanderpressen zusammenfrieren und sich fest vereinigen. Er weist nach, dass bei gesteigertem Druck eine Erniedrigung des Gefrierpunktes eintritt, und hebt Faraday gegenüber hervor, dass bei dieser Erscheinung die Zeit wesentlich zu berücksichtigen ist; er zeigt durch zahlreiche Versuche, dass unter starkem Drucke zwei Eisstücke durch das an ihrer Berührungsfläche gefrierende Wasser unter Umständen in ein zusammenhängendes Stück Eis vereinigt werden können, während man bei schwächerem Drucke länger warten muss, und die Stücke nachher desto leichter wieder zu lösen sind. Er findet die Plasticität des Eises am ausgezeichnetsten in Eis, welches durch hohen Druck aus Schnee zusammengepresst ist, während regelmässig krystallinisches Eis zwar auch durch Regelation vereinigt werden kann, dann aber nur eine Zusammensetzung unregelmässiger Stücke bildet.

Indem er nun die Anwendung dieser Beobachtungen auf die Gletscher macht, kann er auf Grund seiner Versuche die bekannte und nie genügend begründete Erscheinung erklären, dass das Eis im Gletscher gleich einer zähflüssigen Masse fliesst. Die Eismasse des Gletschers ist nämlich überall von Wasseräderchen durchrieselt und hat deshalb in ihrem Inneren überall die Temperatur des Gefrierpunktes, da bei niedrigerer Temperatur das Wasser erstarren, bei höherer das Eis schmelzen müsste. Nun wird aber ein Gemisch von Eis und Wasser kälter und kälter, je grösser der Druck ist, der auf demselben lastet; da keine Wärme entzogen wird, muss daher freie Wärme latent werden und es muss Eis in dem Gemische schmelzen. Bei dem Druck, den die Gletschermassen ausüben und bei

dem das Wasser durch die Spalten entweicht, wird somit, wie Helmholtz meinte, das gepresste Eis, entsprechend der Erniedrigung seines Gefrierpunktes durch den Druck — indem der Gefrierpunkt des nicht zusammengepressten Wassers nicht erniedrigt wird — Eis geben, welches kälter als 0^0 in Berührung mit Wasser von der Temperatur von 0^0 ist. Es wird daher fortdauernd ringsum das gepresste Eiswasser frieren und neues Eis bilden, während dafür ein Theil des gepressten Eises fortschmilzt und das Eis selbst somit wie eine zäh-flüssige Masse sich bewegt.

Bemerkenswerth ist noch die in seinem öffentlichen Vortrage „Eis und Gletscher“ gegebene Erklärung der bis dahin vollkommen dunkeln und missverstandenen Föhnerscheinungen, welche jetzt die Grundlage der gesammten Lehre von den Niederschlägen bildet. Wird die warme Luft des Mittelmeeres durch den Südwind nach Norden getrieben, so wird ein Theil derselben gezwungen, zur Höhe des grossen Gebirgswalles der Alpen hinaufzusteigen. Sie wird sich hierbei entsprechend dem geringeren Luftdruck etwa um die Hälfte ihres Volumens ausdehnen, sehr beträchtlich abkühlen und gleichzeitig den grösseren Theil ihrer Feuchtigkeit als Regen oder Schnee absetzen. Kommt nun dieselbe Luft nachher auf der Nordseite des Gebirges als Föhnwind wieder in die Thäler und Ebenen hinab, so wird sie wieder verdichtet und erwärmt sich auch wieder; derselbe Luftstrom also, der in den Ebenen diesseits und jenseits des Gebirges warm ist, kann auf der Höhe schneidend kalt sein und dort Schnee absetzen, während wir ihn in der Ebene unerträglich heiss finden.

Das Jahr 1865 führte in den häuslichen Verhältnissen von Helmholtz dadurch eine Veränderung herbei, dass seine Schwiegermutter, Frau von Velten, dauernd nach Dahlem übersiedelte, von wo aus sie in der langen Zeit bis zu ihrem Tode im Jahre 1881 nur noch einmal 1874 zum Besuche

ihrer damals schon verheiratheten Enkelin Käthe nach Heidelberg kam.

In den Herbstferien besuchte Helmholtz wie gewöhnlich wieder die Schweiz, wo lange und schwierige Touren ihn körperlich und geistig kräftigten — aber sehr bald riefen trübe und schmerzliche Nachrichten über das Befinden seines Sohnes Robert ihn nach Heidelberg zurück. Freilich suchte ihn seine Frau wieder so lange als möglich von Hause fern zu halten:

„. . . Geniesse nur Deine Reise so recht von Grund aus und kurire Dein armes Haupt, lieber Hermann, damit wir Beide wenigstens frisch und kräftig sind, wenn wieder neue Krankheit uns bedrohen sollte. Den Muth müssen wir uns ja erhalten, wie sollte man sonst durchkommen... Glaube nicht, dass ich mich im Jammer verzehre, ich suche mich aufrecht und heiter zu halten und meine Muthlosigkeit vertreibe ich mir stets, wenn ich an Dich und Deine Abneigung gegen alle Uebertreibungen denke . . .“

Aber Helmholtz macht sich nach den Diagnosen der Aerzte nicht länger Illusionen über das Leiden seines Kindes und kehrt von Genf aus direct nach Hause zurück, indem er sich nur einige Stunden in Freiburg aufhält, um sich wieder an den Klängen der schon vor vielen Jahren von ihm so bewunderten Orgel zu erfreuen:

„Die Orgel ist nun wirklich merkwürdig, für einen Akustiker wohl noch mehr als für einen Musiker. Ich muss sagen, dass ich bisher noch keine Ahnung von den Effecten eines solchen Instrumentes gehabt habe, in Bezug auf die Masse und Gewalt sowohl wie auf die Mannigfaltigkeit der Klangfarbe.“

Die dritte Abtheilung der physiologischen Optik sollte nun im nächsten Jahre 1866 erscheinen, und Helmholtz war Eile in der Publicirung dieses letzten Theiles derselben aufgezwungen, damit nicht wieder eine grosse Fülle neuer Resultate anderer Forscher, welche sich seinen

Arbeiten anschlossen, wie in den beiden ersten, gesondert ausgegebenen Abtheilungen, unberücksichtigt bliebe, wie denn überhaupt sich grosse Missstände daraus ergaben, dass das Werk als ein Theil der von Karsten herausgegebenen „Allgemeinen Encyclopädie der Physik“ erschien.

„Ich öffne“, schreibt ihm du Bois, „nie Deine Optik, ohne mich zu ärgern, dass Du Dich damals von dem todtgeborenen Karsten'schen Unternehmen bemuttern liessest, wodurch das Buch erstlich so sehr an Verbreitung eingebüsst hat, zweitens Dir eine Form aufgedrungen worden ist, die das Verständniss und die Uebersichtlichkeit nicht gerade erleichtert. Die colossalen Seiten des engsten Druckes, auf denen die schwersten Sachen stehen, geben gar keinen Ruhepunkt, und wenn Du etwas schreibst, ist ja gar kein Grund, es klein zu drucken.“

Und erst, als dann das Werk als Handbuch der physiologischen Optik selbständig herausgegeben wurde, schreibt ihm du Bois am 25. April 1867:

„Das Buch wird jetzt erst den grösseren Theil seiner Wirkung entfalten, nun es frei und ungetheilt in den Buchhandel kommen wird. In meinem Laboratorium z. B. kannten es die jungen Leute, wie Rosenthal und Hermann, fast nicht, da es eben auch kein Buch ist, welches man in der Zeit durcharbeiten kann, für die man mit Anstand Bücher leiht.“

Es war für Helmholtz eine schwere Aufgabe, das sich inzwischen neu aufhäufende Material durchzuarbeiten und wenigstens noch für die dritte Abtheilung und die bis ins Einzelne gehende Literaturübersicht seines Werkes zu verwerthen.

„Wie schön muss doch der Zustand eines gelehrten Theologen, Juristen oder Historikers sein, der sein Leben lang immer neue Auflagen von demselben Buche mit kleinen Aenderungen machen kann, während wir armen Naturforscher eins nicht fertig schreiben können, ehe der Anfang

schon wieder veraltet ist“, klagt er Donders gegenüber; aber er erlahmt nicht. Die meisten bekannt gewordenen Thatsachen und Theorien werden einer kritischen Untersuchung unterzogen; er richtet dabei hauptsächlich auf die Punkte sein Augenmerk, welche für seine in der dritten Abtheilung zu bearbeitende Theorie der Gesichtswahrnehmungen und der Ausgestaltung seiner erkenntnisstheoretischen Principien von Wichtigkeit werden, wobei ihm besonders die Erscheinungen von hohem Interesse sind, welche auf optischen Täuschungen beruhen. Für diese sowie für die Sinnestäuschungen überhaupt wollte Helmholtz nur die eine einfache Regel gelten lassen, dass wir stets solche Objecte vor uns zu sehen glauben, wie sie vorhanden sein müssten, um bei normaler Beobachtungsweise dieselben Netzhautbilder hervorzubringen — falsche Inductionsschlüsse, die Helmholtz unbewusste Schlüsse nennt.

In einem an Recklinghausen am 16. Mai 1865 gerichteten Briefe schreibt er:

„Ich muss gestehen, dass mir Ihre Erklärung der Erscheinungen, wenn ich sie richtig verstehe, einige bedenkliche Punkte zu enthalten scheint. Erstens nämlich scheint es mir überhaupt eine unwahrscheinliche — obgleich, wie ich zugebe, nicht widerlegbare — Annahme zu sein, dass wir unmittelbar die wirkliche Form des Netzhautbildes wahrnehmen sollten, so dass wir dessen etwaige Verzerrungen auf die Objecte übertrügen. Diese Annahme führt namentlich auch zu Widersprüchen gegen die scheinbaren Ausmessungen des Gesichtsfeldes, über die ich eine Reihe neuer Versuche angestellt habe. Dann sieht man die von Zöllner, Hering, Kundt beschriebenen Täuschungen auch, wenn man die Zeichnungen so weit vom Auge entfernt, dass ihr Netzhautbild kaum noch eine messbare Flächenkrümmung haben kann. Ich finde nicht einmal, dass die Täuschung durch Verkleinerung schwächer, durch Annäherung und dadurch bedingte Vergrösserung grösser werde, so lange man

nur überhaupt noch alle Linien der Zeichnung erkennen kann. Bei der Zöllner'schen Figur und einigen entsprechenden Mustern von Hering finde ich aber einen merkwürdigen Einfluss der Bewegung des Auges. Fest fixirt verlieren sie für mich ihr täuschendes Aussehen oft gänzlich, während es durch Bewegung verstärkt wird, am meisten, wenn man horizontal quer über die Zöllner'sche Figur mit mässiger Geschwindigkeit eine Nadelspitze führt und dieser mit dem Blicke genau folgt. Dann treten sonderbare Scheinbewegungen der Streifen auf, die einen nach aufwärts, die anderen nach abwärts. Diese scheinen mir zur Erklärung der durch Bewegung bedingten Verstärkung der Täuschung zu führen. Die vollständige Erklärung lässt sich freilich erst im Zusammenhange des Ganzen geben."

So verwendet er nun das ganze Jahr 1865 auf die Fertigstellung der dritten Abtheilung seiner physiologischen Optik, eine riesengrosse Arbeit, die seine Gesundheit arg erschüttert. Fortwährende Migräneanfälle zwingen ihn, in den Herbstferien drei Wochen in Engelberg Molken zu trinken; eine scharfe Fusstour um den Montblanc herum lässt freilich die Anfälle etwas schwächer und seltener als früher wiederkehren, aber die Fortsetzung jener Arbeit, besonders in ihrem erkenntnisstheoretischen Theile, greift seine Gesundheit von Neuem bedenklich an, „die Anfälle machen immer noch jede Beschäftigung unmöglich, jeder Anfall raubt mir 24 Stunden Arbeitszeit".

Sein Befinden zwang ihn, sich auch noch in den folgenden Osterferien eine vierzehntägige Erholung zu gönnen, und er reiste nach Paris, wo er bei dem Onkel seiner Frau, dem berühmten Orientalisten Julius von Mohl gastliche und liebevolle Aufnahme fand. Eine kurze Unterbrechung der Reise dorthin war wieder der Besichtigung von Strassburg gewidmet, wo er die Galerie des Thurmes der Cathedrale bestieg und sich an den kühnen Steinconstructionen erfreute, „ich habe auch des alten Ulrich's

Räthsel wegen des Vierecks und Achtecks mir angesehen, die Lösung ist äusserst einfach". Es verging in Paris der erste Abend im Mohl'schen Hause „in Frieden und hoffentlich gegenseitigem Wohlgefallen". Sehr interessante und ausführliche Berichte über die Erlebnisse eines jeden Tages bringen die an seine Frau gerichteten Briefe, welche Paris und alle hervorragenden Persönlichkeiten durch den längeren Aufenthalt bei ihrer Tante genau kannte.

„. . . Um 11 Uhr musste ich zurück sein für ein Frühstück mit Mr. Hermite und dem Mathematiker Professor Smith aus Oxford. Dabei kam zur Sprache, dass man mich habe nach Oxford berufen wollen als Professor der Physik. Sie haben aber nicht mehr Gehalt zusammenbringen können als 700 £, was zwar mehr ist, als wir in Heidelberg haben, aber kaum genug, um in England mit derselben Behaglichkeit zu leben... Ich finde es also ganz in der Ordnung, dass Herr Professor Max Müller erklärt hat, er könne ihnen bestimmt sagen, ich würde daraufhin nicht kommen . . . Mr. Hermite war gegen mich sehr schmeichelhaft und introducirte auch noch Mr. Grandeau, um mich zu begrüssen und nach der Ecole normale zu führen, wo mich auch der dortige Chemiker St. Claire Deville, eine heranwachsende Grösse ersten Ranges, sehr herzlich empfing. Dieser führte mich herum im physikalischen Cabinet, wobei wir durch eine Classe passiren mussten, in der eine Lehrstunde (Physik) war, ich wurde den Schülern vorgestellt und mit Beifallklatschen entlassen, weil sie — angeblich wenigstens — in meinen akustischen Theorien alle sehr wohl unterrichtet sein sollten . . .

Grandeau und Laugel führten mich zu dem ersten Orgelbauer Cavallié-Col, dessen Atelier wir erst besahen und mit dem wir dann in die Kirche St. Sulpice gingen, um die grösste von ihm gebaute Orgel Europas zu besichtigen, was aber wegen des Gottesdienstes nur sehr unvollkommen geschehen konnte; heute Nachmittag soll es genauer ge-

schehen. Es interessirte mich sehr, was ich sah; Herr Cavallié, der sich vom Arbeiter zum ersten Meister heraufgearbeitet hat, ist ein sehr intelligenter und erfinderischer Kopf . . . Im Concert des Conservatoire hatten wir eine Symphonie von Haydn, ein Stück aus Beethoven's Ballet Prometheus und die ganze Musik zum Sommernachtstraum, ausserdem ein Chor von Bach und Allelujah von Händel. Die Chöre hört man in Deutschland besser, aber die Vollendung des Orchesters ist allerdings einzig in ihrer Art. Die Oboen tändelten in der Haydn'schen Symphonie wie ein leichter Zephyrhauch; alles so rein im Accord, namentlich die ersten hochliegenden Accorde von Mendelssohn's Ouvertüre, mit denen es nachher wieder schliesst, die immer so falsch zu klingen pflegen, waren goldrein. Das Stück Prometheus war der wunderbarste harmonische Wohlklang mit vorwiegenden Hörnern. Dieses Concert war neben der Venus von Milo der zweite Genuss reinster Schönheit, der ein Lebensereigniss bildet... Ich fuhr mit Herrn Cavallié und Bussy in die Wohnung eines Harmoniumfabrikanten Mustel, welcher mir seine neuesten Erfindungen, namentlich auch ein Stimmgabelclavier mit aushaltenden Tönen vorzeigen wollte. Dasselbe bestätigte meine theoretische Voraussetzung und machte keinen besonderen Effect, welches Factum aber für meine Theorie von Wichtigkeit ist. Die Fortschritte in der Construction des Harmoniums waren sehr bedeutend, namentlich hatte er ein sehr vollkommenes und leicht ansprechendes Piano erreicht und allerlei zweckmässige Aenderungen im Mechanismus, um die Oberstimmen hervorzuheben u. s. w. Ich habe diese Gelegenheit benutzt, um für die reine Stimmung der Orgeln zu predigen, und Herr Cavallié schien auch geneigt, den Versuch zu machen . . . Am Mittwoch war ich zuerst in der Vorlesung von Mr. Regnault am Collège de France. Ich hoffte ihn experimentiren zu sehen, er ist einer der berühmtesten Experimentatoren, das that er aber nicht; er zeigte mir

seine Instrumente, eine in der Geschichte der Physik sehr berühmte Sammlung . . .

Ich begab mich nach der Ecole normale, wo mich Herr Grandeau und Deville hinbestellt hatten, um Versuche des letzteren und Instrumente von Herrn König zu sehen. Zu meinem Erstaunen erschien auch noch der Minister des Unterrichts Mr. Duruy mit einem seiner Räthe, und es wurde von mir verlangt, dass ich ihm einen Vortrag über die Analyse der Vocaltöne halten sollte, was ich auch that . . .“

Aus Paris zurückgekehrt, ging er sogleich wieder an die Fertigstellung seiner physiologischen Optik, wurde aber durch die Wirren in Süddeutschland, welche der Krieg zwischen Preussen und Oesterreich mit sich brachte, in der stetigen und so überaus schwierigen Arbeit vielfach gestört und gehindert. Als Preusse von Geburt und mit ganzer Seele seinem engeren Vaterlande zugethan, musste ihm die Lage, in die gerade Baden durch die eigenthümliche Verwickelung der Verhältnisse gerathen war, sehr zu Herzen gehen. Er huldigte nie Extremen in religiösen und politischen Dingen; wie er durch Erziehung und Ueberzeugung stets im edelsten Sinne religiös, nie im orthodoxen Sinne kirchlich gewesen, so war er, wenn er sich auch nie in seinem Leben activ an der Politik betheiligt hat, doch schon von Jugend auf durch die Tradition im elterlichen Hause und durch ruhige und klare Wägung der Verhältnisse ein im besten Sinne liberal denkender Mann, der sich von reactionären Gelüsten und radicalen Strömungen fern hielt. Ueber die politischen Anschauungen, welche den jugendlichen Helmholtz in der grossen und sturmbewegten Zeit der Jahre 1848 und 1849 beherrschten, liegen uns briefliche Andeutungen nicht vor; die Nähe seines Vaters gestattete einen mündlichen Gedankenaustausch über die Fragen der Politik mit dem alten Freiheitskämpfer, und seine Stellung als Militärarzt musste ihm selbstverständlich die grösste

Zurückhaltung in den Briefen an seine Freunde auferlegen. Aber sein jugendlicher Sinn, begeistert für alles Edle und Gute, war doch damals tief ergriffen von dem Ringen der Nation um politische Freiheit und Einheit.

„Ich weiss in unverwischlicher Deutlichkeit“, schreibt seine Schwägerin, „dass ihn damals eine für das Gleichmaass seiner Natur geradezu leidenschaftliche Antheilnahme beherrschte. Die Tage nach dem 18. März fanden ihn in einer fast stürmischen Begeisterung, und ein kleiner Zug illustrirt das Gesagte sprechend. Er kam an einem jener Tage direct von Berlin zu uns, und als ich ihm meinen vierzehn Tage alten Jungen zum ersten Male zeigte, zog er strahlend aus der Westentasche eine schwarz-roth-goldene Cocarde, heftete sie dem Kinde an die kleine Mütze und gratulirte der „Bürgerin Mutter zu ihrem in Freiheit Erstgeborenen“. Der hübsche Scherz war ein beredtes Symptom für die in ihm arbeitende, leidenschaftliche Theilnahme an dem erwachenden Bewusstsein der Nation. Er verfolgte später die Debatten in der Paulskirche, die traurige Ausartung der Bewegung und endlich ihr Versumpfen und Versanden mit dem Antheil des Herzens und Charakters.“

So stand er nun auch in den Wirren des Jahres 1866 begeistert für die Einheit und Freiheit Deutschlands ganz auf Seiten Preussens, denn er sah dort das Kräftecentrum, nach dem alles gravitiren musste, um sich nach aussen im Gleichgewicht zu halten — und er hat sich auch darin nicht getäuscht.

Aber auch seine Frau, die von Geburt Süddeutsche, tritt mit Begeisterung auf die Seite Preussens:

„. . . Hier ist jeder anständige Mensch“, schreibt sie am 12. Juli ihrer Mutter, „preussisch seit diesem französischen Bündniss Oesterreichs. Ich habe Häusser heute gesehen und gesprochen, leider sehr verändert äusserlich, aber so lebhaft als je und Gottlob ganz unserer Meinung.

Wäre er nicht krank, so wäre manches klare gute Wort auf unsere wirren Geister gefallen . . ."

Als sich nun alles rascher, als man vermuthet, den Herzenswünschen von Helmholtz gemäss gestaltete, da ging er mit frischem Muth und rüstiger Kraft an die begonnene grosse Arbeit über die Gesichtswahrnehmungen in seinen physiologisch-optischen Untersuchungen.

„Es musste am Ende der Versuch gemacht werden, Ordnung und Zusammenhang in dieses Gebiet hineinzubringen und es von den auffälligen Widersprüchen zu befreien, die sich bis jetzt durch dasselbe hinzogen. Ich habe dies gethan in der Ueberzeugung, dass Ordnung und Zusammenhang, selbst wenn sie auf ein unhaltbares Princip gegründet sein sollten, besser sind als Widersprüche und Zusammenhanglosigkeit. Ich habe deshalb das Princip der empiristischen Theorie, von dem ich mich immer mehr überzeugt habe, je länger ich arbeitete, dass es das einzige ist, welches ohne Widersprüche durch das Labyrinth der gegenwärtig bekannten Thatsachen hindurchführt, zum Leitfaden genommen." So schloss er mit der dritten Abtheilung im Jahre 1866 das Handbuch der physiologischen Optik ab, von dem du Bois sagt:

„Jenes umfangreiche, einheitliche, doch auf das Feinste gegliederte Werk, in dem er diesen Zweig der Physiologie systematisch und literargeschichtlich in grösster Vollständigkeit darstellt, von den mathematischen Anfangsgründen der theoretischen Optik bis zu den letzten erkenntnisstheoretischen und ästhetischen Gesichtspunkten; keine wissenschaftliche Literatur irgend einer Nation besitzt ein Buch, welches diesem an die Seite gestellt werden kann, nur ein zweites Werk von Helmholtz selber kann daneben genannt werden, die Lehre von den Tonempfindungen."

Der Weg, auf welchem Helmholtz zu seinem Systeme der Erkenntnisstheorie gelangte, führte hin auf dem Unterbau seiner psycho-physiologischen und geometrischen For-

schungen, von denen die letzteren jedoch erst einen methodischen Gang annahmen, als er seine physiologisch-optischen und akustischen Studien beendet und die tiefen Untersuchungen über die Axiome der Geometrie und Mechanik begonnen hatte. Ein in sich abgeschlossenes System seiner Philosophie gab er erst in seiner berühmten Rede zur Stiftungsfeier der Berliner Universität „Ueber die Thatsachen der Wahrnehmung".

Wir haben es hier also zunächst nur mit der Begründung seiner erkenntnisstheoretischen Anschauungen zu thun, wie sie sich in ihm schon unmittelbar nach der Veröffentlichung seiner Schrift über die Erhaltung der Kraft entwickelt hatten, und zu denen ihn alle seine Untersuchungen über Sinnesempfindungen und Sinneswahrnehmungen hindrängten, welche er stets als die Basis für den Aufbau seiner Philosophie betrachtet hat. In der dritten Abtheilung seiner physiologischen Optik schlägt er zum Zwecke der Darstellung den umgekehrten Weg ein. Nachdem er zunächst seine philosophischen Anschauungen entwickelt, suchte er bei der genauen Darlegung der Theorie der Gesichtswahrnehmungen für alle seine Untersuchungen und Erklärungsweisen über die Augenbewegungen, die Richtung des Sehens, die Wahrnehmung der Tiefendimensionen und das binoculare Doppelsehen — welche in den früher angeführten Einzelarbeiten bereits veröffentlicht, jetzt nur systematisch zusammengestellt und durch neue Versuche und tiefere theoretische Behandlung erweitert wurden — die Bestätigung und Uebereinstimmung mit der von ihm aufgestellten, consequent durchgeführten und bis an sein Ende aufrecht erhaltenen empiristischen Hypothese nachzuweisen. Die hier niedergelegten erkenntnisstheoretischen Anschauungen, so weit sie auf physiologischer Basis entstanden sind, entwickelte er auch in leicht verständlicher Weise und in geradezu vollendeter Form in den für die Preussischen Jahrbücher im Jahre 1868 ausgearbeiteten, in Frankfurt und Heidelberg

gehaltenen Vorträgen „Die neueren Fortschritte in der Theorie des Sehens“, während er die rein ästhetischen Folgerungen seiner optischen Untersuchungen, wie er es in dem Capitel über die Verwandtschaft der Klänge in seinen Tonempfindungen gethan, in meisterhafter Weise in den in Berlin, Düsseldorf und Cöln 1871 bis 1873 gehaltenen und unter dem Titel „Optisches über Malerei“ veröffentlichten Vorträgen ausführte.

Helmholtz sieht in einer richtigen Kritik der Erkenntnissquellen eine praktische und höchst wichtige Aufgabe der Philosophie, aber er ist weit davon entfernt, materialistischen Anschauungen zu huldigen und zu glauben, dass eine solche Kritik uns dazu führen wird, in das Wesen der Dinge an sich einzudringen; „der Beobachter mit taubem Ohr kennt die Schallschwingung nur, so lange sie sichtbar und fühlbar am schweren Stoffe haftet, sind unsere Sinne dem Leben gegenüber hierin dem tauben Ohre ähnlich?“

Nicht einmal in dem Widerstreit der realistischen und idealistischen Hypothese tritt er rückhaltlos auf die Seite der ersteren. Freilich ist die realistische Hypothese, da sie für die einer Handlung folgenden Veränderungen der Wahrnehmungen gar keinen psychischen Zusammenhang mit dem vorausgegangenen Willensimpuls voraussetzt, die einfachste und fruchtbarste als Grundlage für das Handeln; es kann selbst eine idealistische Anschauung das Gesetzliche in unserer Empfindung nicht anders ausdrücken, als dass die mit dem Charakter der Wahrnehmung auftretenden Bewusstseinsacte so verlaufen, als ob die Welt der stofflichen Dinge wirklich bestände — aber er spricht es doch unumwunden aus, dass neben der realistischen doch immer noch andere unwiderlegbare idealistische Hypothesen möglich bleiben; „ich sehe nicht ein, wie man ein System selbst des extremsten subjectiven Idealismus widerlegen könnte, welches das Leben als Traum betrachten wollte.“

Schon seine ersten optischen und akustischen Unter-

suchungen hatten ihn gelehrt, dass für unsere sinnlichen Wahrnehmungen ausser den Empfindungen des Nervenapparates noch eine eigenthümliche Seelenthätigkeit in Betracht kommt, um zu der Vorstellung des äusseren Objects zu gelangen, welches unsere Empfindung erregt hat. In seiner Kant-Rede hatte er bereits im Anschluss an Lotze die Empfindung unserer Sinnesnerven nur als Zeichen für gewisse äussere Objecte betrachtet und sah die richtigen Schlüsse von den Empfindungen auf die entsprechenden Objecte als durch Einübung entstanden an. Als wesentlich neues Moment trat aber aus seinen Untersuchungen über den blinden Fleck im Auge, die Obertöne u. s. w. die Erkenntniss des für alle unsere Sinneswahrnehmungen geltenden Gesetzes hinzu, dass wir auf unsere Sinnesempfindungen nur so weit achten, als sie uns die äusseren Objecte erkennen lassen, und dass wir erst bei der wissenschaftlichen Untersuchung unserer Sinnesthätigkeit diejenigen Empfindungen analysiren, welche nicht directen Bezug auf äussere Objecte haben. Und nun greift Helmholtz die schwierige Frage an, welche Art der Uebereinstimmung zwischen der Vorstellung und ihrem Objecte vorhanden sei, oder welche Art von Wahrheit wir unseren Vorstellungen und Perceptionen zuschreiben dürfen.

Wie die Empfindungen des Auges, Ohres, Tastgefühls unter einander so gänzlich verschieden sind, dass man zwischen denen verschiedener Sinne gar keine Vergleichung in Bezug auf Qualität oder Intensität anstellen kann, — man nennt diesen Unterschied den des Modus der Empfindung, während der Unterschied zwischen gleichartigen Empfindungen als der der Qualität bezeichnet wird —, so verhält es sich auch, wenn man Wahrnehmungen von Seelenzuständen, welche Kant einem besonderen Sinne, dem inneren Sinne oder der inneren Anschauung, zuschreibt, mit solchen des Auges und Ohres vergleichen wollte. Trotz noch mannigfacher anderer Unterschiede haben sie aber doch ein Gemeinsames darin, dass die Wahrnehmungen des inneren sowie der

äusseren Sinne sich durch eine fortdauernde Thätigkeit des Gedächtnisses der Zeitreihe einordnen, wodurch die Möglichkeit gegeben ist, regelmässige Wiederholungen solcher Zeitfolgen von gleichartigen Wahrnehmungen als solche zu beobachten und wiederzuerkennen. Wenn also auch die Qualitäten der Empfindung nur als blosse Form der Anschauung erkannt werden müssen, und die Empfindungen selbst nur Zeichen sind, deren besondere Art ganz von unserer Organisation abhängt, so sind sie doch Zeichen von etwas Bestehendem oder Geschehendem und bilden uns daher das Gesetz dieses Geschehens ab. Das Gesetzliche in der Erscheinung können wir also unzweideutig und als Thatsache finden. Nennt man daher Substanz das, was ohne Abhängigkeit von anderem gleich bleibt in allem Wechsel der Zeit, und nennt man dagegen das gleich bleibende Verhältniss zwischen veränderlichen Grössen das sie verbindende Gesetz, so können wir nur dieses direct wahrnehmen, während der Begriff der Substanz immer problematisch bleibt.

„Nur die Beziehungen der Zeit, des Raumes, der Gleichheit und die davon abgeleiteten der Zahl, der Grösse, der Gesetzlichkeit, kurz das Mathematische, sind der äusseren und inneren Welt gemeinsam, und in diesen kann in der That eine volle Uebereinstimmung der Vorstellungen mit den abgebildeten Dingen erstrebt werden.“

Von dieser philosophischen Grundlage aus geht er zur Entwickelung einer Theorie der Raumanschauung über, welche sich auf seinen physiologisch-optischen Grundanschauungen aufbaut. Der nativistischen Theorie der Raumanschauung von Johannes Müller stellt er seine empiristische Theorie des Sehens gegenüber; während sich nach ersterer die Netzhaut selbst in ihrer räumlichen Ausdehnung empfindet, diese Raumanschauung angeboren ist, und die von aussen her erregten Eindrücke nur an entsprechender Stelle in das räumliche Anschauungsbild des Organs von sich selbst eingetragen werden, geben nach Helmholtz's Ansicht unsere Sinnesempfin-

dungen uns überhaupt nichts weiter als Zeichen für die äusseren Dinge und Vorgänge, welche zu deuten wir durch Erfahrung und Uebung erst lernen müssen. Die Bedeutung der Localzeichen der Empfindung, welche dieselbe Farbe an verschiedenen Netzhautstellen erregt, für die Aussenwelt muss nach der empiristischen Theorie erst erlernt werden, während für die nativistische Theorie die Localzeichen nur eine unmittelbare Anschauung der Raumunterschiede ihrer Art und Grösse nach sind; die Theorie des Stereoskops, das Einfachsehen mit zwei Augen und eine grosse Reihe anderer optischer Erscheinungen geben eine „merkwürdige Bestätigung für die Voraussetzung der empiristischen Theorie, dass als örtlich getrennt im Allgemeinen nur solche Empfindungen angeschaut werden, die sich durch wirkliche Bewegung von einander trennen lassen". Wir lernen die Bedeutung der Zeichen lesen, indem wir sie mit dem Erfolge unserer Bewegungen und den Veränderungen, die wir selbst durch diese in der Aussenwelt hervorbringen, vergleichen. Einen Unterschied zwischen den Schlüssen der Logiker und den Inductionsschlüssen, deren Resultat in den durch die Sinnesempfindungen gewonnenen Anschauungen der Aussenwelt zu Tage kommt, sieht Helmholtz nur darin, dass jene ersteren des Ausdruckes in Worten fähig sind, während letztere statt der Worte die Erinnerungsbilder der Empfindungen substituiren. Dieses Gebiet der Vorstellungsfähigkeit combinirt nur sinnliche Eindrücke, die des unmittelbaren Ausdruckes durch Worte nicht fähig sind, „wir nennen es im Deutschen das Kennen".

Sein oben erwähnter Vortrag „Die neueren Fortschritte in der Theorie des Sehens" bietet zu dem Inhalte seiner physiologischen Optik dadurch noch mancherlei Ergänzungen, dass er einzelne allgemeine und interessante Bemerkungen, welche in dem grossen Werke unbemerkt geblieben wären, hier in übersichtlicher und geistvoller Form zusammenstellt.

Bei der Besprechung der Mängel des optischen Appa-

rates des Auges hebt er in Uebereinstimmung mit seiner empiristischen Auffassung hervor, „dass es nicht die mechanische Vollkommenheit der Sinneswerkzeuge ist, welche uns diese wunderbar treuen und genauen Eindrücke verschafft“, und nachdem er die Gesichtsempfindungen erörtert, die Theorie der Farben, Nachbilder und Contraste besprochen, sagt er:

„Was wir in dem optischen Apparate und dem Netzhautbilde an Ungenauigkeiten und Unvollkommenheiten gefunden haben, erscheint als durchaus unerheblich neben den Incongruenzen, denen wir hier im Gebiete der Empfindungen begegnen. Fast könnte man glauben, die Natur habe sich hier absichtlich in den kühnsten Widersprüchen gefallen, sie habe mit Entschiedenheit jeden Traum von einer prästabilirten Harmonie der äusseren und inneren Welt zerstören wollen.“

Auch in diesem Vortrage entwickelt Helmholtz wieder die Grundzüge seiner empiristischen Theorie.

„Wie in dem Vorigen“, sagt du Bois in seiner Gedächtnissrede auf Helmholtz, „das Princip der Erhaltung der Energie uns stets als sicherer Leitfaden durch Helmholtz's Gedankenwege diente, so fehlt es auch in diesem Abschnitte nicht an einem ähnlichen Führer. Der diese Untersuchungen beherrschende Gedanke ist die empiristische Weltanschauung, welcher Helmholtz huldigt, im Gegensatze zu der von ihm verworfenen nativistischen. Es ist dies derselbe Gegensatz, der schon im siebzehnten Jahrhundert zwischen der Leibniz'schen prästabilirten Harmonie und dem Locke'schen Sensualismus bestand, dem aber dann Kant eine entschiedene Wendung zu Gunsten der ersteren Lehrmeinungen gab.“

Schon hier, aber noch viel schärfer später, tritt Helmholtz in Gegensatz zu Kant, welcher behauptete, dass sowohl das Causalgesetz als auch die Anschauung der Zeit und des dreidimensionalen Raumes mit seinen geometrischen

Axiomen transcendentalen Ursprungs, uns a priori eingeborene Einsichten seien. Trotzdem bleibt Helmholtz sich dessen bewusst, dass seine empiristische Theorie doch nur eine Hypothese ist und bleiben wird. Aber Hypothesen sind nach ihm nothwendig für das Handeln, und man muss sich nach dem moralischen oder ästhetischen Gefühl entscheiden; nur das Experiment, bei welchem „die Kette der Ursachen durch unser Selbstbewusstsein hindurchläuft", kann kritisch angesehen werden, während die Beobachtung, ein ohne unser Zuthun ablaufender Vorgang, durch physische und psychische Ursachen modificirt wird. Er wusste wohl, dass seine Hypothese vielem Widerspruch begegnen würde, und war nicht erstaunt, als ihm du Bois am 25. April 1868 schrieb:

„Deine Aufsätze aus den Preussischen Jahrbüchern habe ich kürzlich auf einer Eisenbahnfahrt zu und von Ludwig mit grossem Genuss gelesen. Gegen die streng empiristische Anschauung scheint mir immer zu sprechen, dass sie eben durchaus consequent müsste durchführbar sein, was, wie Du selbst zugiebst, der Fall nicht ist; denn wenn dem Kälbchen angeboren ist, dem Euter des Geruchs halber nachzugehen, was kann ihm dann nicht noch alles angeboren sein? Mir scheint immer noch so viel Nativismus übrig zu bleiben, den man nicht los werden kann, dass es auf eine Hand voll mehr oder weniger nicht ankommt. In der Bewegungssphäre z. B. sind doch zahllose Fälle der schwierigsten Art, wo er nicht hinwegzubringen ist. Du wirst sagen, dass man wenigstens versuchen solle, ihn nach Möglichkeit einzuschränken, und das will ich nicht verkennen. Uebrigens haben wir über diesen Gegenstand schon vor 20 Jahren verhandelt, als ich behauptete, das Gefühl für die Schönheit sei uns angeboren, und Du meintest, wir nennten schön nur das Zweckmässige, die weibliche Brust z. B. nur, weil wir ihr ansähen, dass sie gut zum Säugen sei. Ich muss gestehen, dass in diesem Punkte mein Causalitätsbedürfniss einer grösseren Resignation fähig ist als das Deinige."

Helmholtz beantwortete alle diese Einwände später in seiner Rede „Ueber die Thatsachen der Wahrnehmung“ mit den Worten:

„Für eine grosse Zahl von Physiologen, deren Ansicht wir als die nativistische bezeichnen können, im Gegensatz zur empiristischen, die ich selbst zu vertheidigen gesucht habe, erscheint die Vorstellung einer erworbenen Kenntniss des Gesichtsfeldes unannehmbar, weil sie sich nicht klar gemacht haben, was doch am Beispiel der Sprache so klar vorliegt, wie viel die gehäuften Gedächtnisseindrücke zu leisten vermögen. Es sind deshalb eine Menge verschiedener Versuche gemacht worden, wenigstens einen gewissen Theil der Gesichtswahrnehmungen auf einen angeborenen Mechanismus zurückzuführen in dem Sinne, dass bestimmte Empfindungseindrücke bestimmte fertige Raumvorstellungen auslösen sollten. Aber die nativistischen Hypothesen erklären erstens nichts, sondern nehmen nur an, dass das zu erklärende Factum bestehe, zweitens erscheint die Annahme sämmtlicher nativistischer Theorien, dass fertige Vorstellungen von Objecten durch den organischen Mechanismus hervorgebracht werden, viel bedenklicher, als die Annahme der empiristischen Theorie, dass nur das unverstandene Material von Empfindungen von den äusseren Einwirkungen herrühre, alle Vorstellungen aber daraus nach den Gesetzen des Denkens gebildet werden. Drittens sind die nativistischen Annahmen unnöthig.“

Für Helmholtz war es bei Aufstellung seiner empiristischen Hypothese um eine Reihe thatsächlicher Fragen zu thun, auf die bestimmte Antworten zu geben waren, und er war bei der Untersuchung des gesetzlichen Verhaltens objectiver Thatsachen zu dem Ergebniss gelangt, dass die Sinnesempfindungen nur Zeichen für die Beschaffenheit der Aussenwelt sind, deren Deutung durch Erfahrung gelernt werden muss. Es gab ihm für die unentwegte Verfechtung seiner Hypothese die Thatsache eine grosse Zuversicht, dass

sich dieselbe mit Müller's Theorie der specifischen Energien durchaus vereinbar erwies. Wenn auch das Signal der irgendwie afficirten Sehnerven immer dasselbe bleibt, so ist das Gehirn doch gewohnt, von dem durch Aetherschwingungen gegebenen Signal auf Licht zu schliessen, und wird, auch wenn die Affection durch einen Stoss vor sich ging, sich erst nach der Empfindung von Licht des Irrthums bewusst werden. Aber den oben hervorgehobenen Charakter einer Hypothese hat Helmholtz stets betont, indem er wiederholt ausgesprochen, dass ihm bisher keine Thatsache bekannt geworden sei, welche mit derselben unvereinbar wäre, und dass für dieselbe nichts weiter anzunehmen ist, als die durch tägliche Erfahrung ihren Gesetzen nach bekannten Associationen der Anschauung und Vorstellung. Er kann auch den Einwand nicht als berechtigt anerkennen, dass seine Hypothese bisher noch nicht eine vollständige Erklärung der psychischen Thätigkeiten zu geben im Stande war, da auch keine Form der nativistischen Theorien es vermeiden konnte, auf die Wirksamkeit derselben zurückzugreifen. Er konnte sich in seinem weiteren Leben nie mehr von der Erforschung dieser erkenntnisstheoretischen Probleme lossagen.

„Das Interesse für die erkenntnisstheoretischen Fragen war mir schon in der Jugend eingeprägt, wo ich oft meinen Vater, der einen tiefen Eindruck von Fichte's Idealismus behalten hatte, mit Collegen, die Hegel und Kant verehrten, habe streiten hören.“

Aber er blieb sich auch stets dessen bewusst, dass er den Widerspruch der Philosophen immer von Neuem hervorrufen würde.

„Auf diese Untersuchungen stolz zu werden, habe ich bisher wenig Veranlassung gehabt. Denn auf je einen Freund habe ich dabei etwa zehn Gegner gefunden; namentlich habe ich immer alle Metaphysiker, auch die materialistischen, und alle Leute von verborgenen metaphysischen Neigungen dadurch aufgebracht.“

Aber er fand auch unter den besten und ihm befreundeten Physiologen bisweilen eine nur sehr bedingte Zustimmung, indem diese nicht nur, wie du Bois, durch ein gewisses nativistisches Gefühl geleitet, der consequenten Durchführung der empiristischen Hypothese unsympathisch gegenüberstanden, sondern Einwendungen deshalb gegen dieselbe machten, weil sie ihnen mit der Existenz der Sinnestäuschungen nicht vereinbar erschien. Von diesem Standpunkte aus erhob auch Donders Bedenken gegen die Helmholtz'sche Hypothese, auf welche dieser am 26. Mai 1868 erwidert:

„Ich halte die Veröffentlichung sorgfältig beobachteter Studien über die Projection von Schielenden mit Berücksichtigung der Eventualität, dass dieselbe vielleicht der Natur der Sache nach gar nicht fest ist, für sehr wichtig und wünschenswerth. Die bisherigen Angaben darüber scheinen mir durchaus von vorgefassten Meinungen beeinflusst zu sein. Und obgleich Sie vorläufig noch selbst in den Klauen der nativistischen Theorie stecken, so habe ich zu Ihnen doch das Vertrauen — wie auch Ihre Versuche über Stereoskopie bei elektrischer Beleuchtung zeigen — dass Ihnen die Thatsachen höher stehen, als die Theorie. Ich weiss übrigens sehr wohl, dass meine empiristische Theorie vorläufig nur eine der möglichen Ansichten der Sache ist, und vielleicht findet man bald Thatsachen, die sie zu einer unmöglichen machen; wenn das geschieht, so hat sie ihren Nutzen gehabt und kann abtreten. Für sehr wahrscheinlich halte ich das freilich nicht, was die Vorstellungen und das Wahrnehmen betrifft. Was die Bewegungstriebe betrifft, so ist es mit denen etwas anderes. Deren sind wirklich und unleugbar beim Neugeborenen wie beim Erwachsenen welche da, und die Möglichkeit, dass gewisse Gruppenbewegungen von vornherein leichter eintreten, als andere, ist denkbar; das mag auch bei den Augenbewegungen der Fall sein. Aber bei diesen von Zwang zu reden, geht doch nicht an

Was ich wünschte, wäre nur der Beweis, dass eine natürliche Begünstigung dieser Bewegungen besteht. Der heillosen Hypothesenwirthschaft gegenüber über nie gesehene Nervenverbindungen mit allen möglichen undenkbaren Eigenschaften, die seit einer langen Reihe von Jahren die Fortschritte in der Physiologie der Centraltheile hemmt, glaubte ich aber, sei es wichtig, den Leuten vor Augen zu stellen, wie viel Hypothesen sie gemacht hätten unnöthiger Weise, und lieber die entgegengesetzte Ansicht eventualiter zu übertreiben, als in dem bisherigen faulen Schlendrian zu bleiben. Reflexbewegung, so kann man jetzt definiren, ist alles in der Physiologie, was man nicht erklären kann. Es sind die Nachtheile übertriebener materialistischer Metaphysik, von der die Leute zu den Thatsachen zurückgerufen werden müssen.“

Gerade, weil Helmholtz die aus der Existenz der Sinnestäuschungen hergenommenen Einwände gegen seine Hypothese entkräften wollte, hatte er für alle Täuschungen eine Regel darin aufgestellt, dass wir stets solche Objecte vor uns zu sehen glauben, wie sie vorhanden sein müssten, um bei normaler Beobachtungsweise dieselben Netzhautbilder hervorzubringen; und er hatte für diese Vorgänge die Bezeichnung der unbewussten Schlüsse gewählt, bei welchen nur statt der Worte die Empfindungen und die Erinnerungsbilder derselben treten, die aber dieselbe geistige Thätigkeit bedingen, wie die gewöhnlichen Schlüsse. Selbst die Anhänger der nativistischen Theorie müssen, wie er besonders hervorhebt, eingestehen, dass die eigentliche Vollendung und Verfeinerung der sinnlichen Anschauung auf der Erfahrung beruht.

Durch den Nachweis, dass sinnliche Wahrnehmung unmittelbar oder mittelbar den Stoff zu allem menschlichen Wissen liefert oder wenigstens die Veranlassung bildet zur Entfaltung jeder etwa angeborenen Thätigkeit des menschlichen Geistes, war die Grundlage gelegt für die gegen die

Aussenwelt zur Erscheinung kommenden psychischen Thätigkeiten des Menschen; es hatten seine naturwissenschaftlichen Methoden und Versuche in das bisher unzugängliche Gebiet der Seelenthätigkeit eingreifen können, ohne dass er den Versuch machte, etwa tiefer in die Psychologie selbst einzudringen. Er hatte früher die Resultate seiner akustischen Forschungen nach der ästhetischen Seite der Tonempfindungen weiter ausgebaut und nachgewiesen, dass die Formen der musikalischen Gestaltung am reinsten von allen Künsten von dem Wesen und den Eigenthümlichkeiten unserer Empfindungen abhängen. Ebenso gelang es ihm nun auch, in den 1871 bis 1873 in Berlin, Düsseldorf und Cöln gehaltenen Vorträgen „Optisches über Malerei“ für die Malerei — in welcher sich die Art des zu verwendenden Materials und der darzustellenden Gegenstände viel einflussreicher geltend macht, für welche aber auch die besondere Empfindungsweise des Sehorgans nicht ohne Bedeutung ist — die Ueberzeugung zu erbringen, dass nicht bloss die aufmerksame Betrachtung der Werke grosser Meister für die physiologische Optik förderlich, sondern auch die Aufsuchung der Gesetze der Sinnesempfindungen und Wahrnehmungen der Theorie der Kunst und dem Verständniss ihrer Wirkung nützlich ist.

Helmholtz ist auf dem Umwege der Physiologie der Sinne zu seinen Kunststudien gelangt und glaubt sich deshalb „mit einem Wanderer vergleichen zu dürfen, der seinen Eintritt in das schöne Land der Kunst über ein steriles und steiniges Grenzgebirge gemacht, dabei aber auch manchen Aussichtspunkt erreicht hat, von dem herab sich eine gute Ueberschau darbot“. Er sieht es nicht als seine Aufgabe an, Vorschriften zu finden, nach denen der Künstler handeln soll, aber er will die Aufgaben verstehen, welche der Künstler zu lösen hat, und die Wege kennen lernen, auf denen er sein Ziel zu erreichen sucht; „der Künstler kann die Natur nicht abschreiben, er muss sie übersetzen“. Aber diese Uebersetzung führt er nicht aus auf Grund bewusster

logischer Thätigkeit des Geistes, sondern mit Hülfe besonders feiner und genauer Beobachtung sinnlicher Eindrücke und eines für die Bewahrung der Erinnerungsbilder solcher Eindrücke besonders treuen Gedächtnisses, welches — da doch das nur dürftig ist, was er im Moment durch flüchtige Skizzen festhalten kann — namentlich in Bezug auf die Einzelheiten der Erscheinung wohl treuer ist als bei der Mehrzahl anderer Menschen. Schon in seinen Tonempfindungen hat Helmholtz das staunenswerthe Gedächtniss der Musiker hervorgehoben, welche, ohne Noten vor sich zu haben, zahllose Compositionen auf ihrem Instrumente vorzutragen wissen; und gerade in der Wichtigkeit, welche das Gedächtniss hat, sieht er, wie er in seiner herrlichen Goethe-Rede in Weimar ausführt, die Wege des Forschers und des Künstlers sich trennen:

„Was wir in Worte fassen können, das können wir auch durch die Schrift fixiren; nur der erste erfinderische Gedanke wird bei beiden Arten der Thätigkeit immer in derselben Weise sich bilden und auftauchen müssen, und zwar kann das zunächst immer nur in einer der künstlerischen Anschauung analogen Weise als Ahnung neuer Gesetzmässigkeit geschehen."

Die erste und grösste Schwierigkeit für den Maler ist, den Beschauer die Tiefe der dargestellten Gegenstände im Gemälde beurtheilen zu lassen, da das zweiäugige Sehen körperlicher Gegenstände hier wegfällt. Er muss zu diesem Zwecke die perspectivische Anordnung seiner Gegenstände, ihre Lage und Wendung, die Beleuchtung und Beschattung geschickt wählen; vor allem wird ihm aber die Luftperspective oder die künstlerische Darstellung der Lufttrübung ein wirksames Hülfsmittel bieten, um durch das stärkere oder geringere Hervortreten der Luftfarbe über der Farbe der Gegenstände deren verschiedene Entfernung sehr bestimmt anzudeuten. Ausser den Formen der Gegenstände kommen aber noch wesentlich die Helligkeitsstufen in Betracht. Da es für den Maler unmöglich ist, auf einem Bilde dieselbe

Helligkeit und Dunkelheit zu verwenden, wie die Natur sie bietet, kann er nur danach streben, durch seine Farben einen gleichen Eindruck auf das Auge des Beschauers hervorzubringen; er thut dies unbewusst auf Grund der Existenz des Fechner'schen psycho-physischen Gesetzes, wonach Unterschiede der Lichtstärke innerhalb sehr breiter Grenzen der Helligkeit gleich deutlich sind, also in der Empfindung gleich gross erscheinen, wenn sie den gleichen Bruchtheil der gesammten verglichenen Lichtstärke ausmachen. Nur das Verhältniss der Helligkeiten ist für uns das sinnliche Zeichen für die dunklere und hellere Färbung der Körper; der Maler wird daher in seinen Farben nur das gleiche Verhältniss der Helligkeit zu wählen haben, welches die Wirklichkeit zeigt. Sind aber die mittleren Grenzen des Fechner-schen Gesetzes überschritten, so werden bei geringerer Helligkeit die dunkleren Objecte den dunkelsten, bei grosser Helligkeit die helleren den hellsten ähnlicher, und es werden hiernach die Maler bei Darstellung glühenden Sonnenscheins alle Objecte fast gleich hell, bei Mondschein nur die allerhellsten Objecte hell, die anderen unerkennbar dunkel, zu machen haben.

Aber es treten zu den Helligkeitsunterschieden auch Abweichungen in der Färbung, da die Scala der Empfindungsstärken auch für die verschiedenen Farben verschieden ist. Die Erscheinungen der Blendung treten bei gesteigerter Helligkeit im Roth schwächer auf als im Blau, und Helmholtz hat beobachtet, dass sich dies schon bei geringer Steigerung der Intensität um den gleichen Bruchtheil besonders auffallend an rothen und violetten Spectralfarben zeigt, so dass bei Mischfarben sehr helles Weiss gelblich, lichtschwaches bläulich gefärbt erscheint. Der Maler wird daher, um den Eindruck von sonnenbeleuchtetem Weiss mit lichtschwächeren Farben nachzuahmen, in seinem Weiss durch Einmischung von Gelb diese Farbe ebenso vorwiegen machen müssen, wie sie in wirklich hellerem Weiss in der That vorwiegen würde.

Endlich kommen aber auch noch die Erscheinungen des Contrastes in Frage, welche sich auf den Gemälden nicht ebenso wie an den wirklichen Objecten erzeugen lassen, da die Farben auf den Gemälden nicht ebenso glänzend und lichtstark sind wie bei diesen; es wird der Maler daher eine ebene gleichmässig erleuchtete Fläche da heller machen müssen, wo sie an Dunkel, dunkler, wo sie an Hell anstösst. Auch die subjectiven Erscheinungen des Auges, wie die von den durchsichtigen, nicht ganz klaren Medien desselben erzeugte Irradiation wird der Künstler objectiv nachahmen; vor allem aber wird die Farbenharmonie in Frage kommen, indem die Beziehungen der Farben eines Bildes zu einander einen grossen Einfluss auf das ästhetische Wohlgefallen an einem Bilde ausüben, und selbst starke Farben für die zarteste Aenderung oder Beleuchtung ausdrucksvoll im malerischen Sinne sein können.

„Was soll ein Kunstwerk in des Wortes höchstem Sinne wirken? Es soll unsere Aufmerksamkeit fesseln und beleben, es soll eine reiche Fülle von schlummernden Vorstellungsverbindungen und damit verknüpften Gefühlen in mühelosem Spiel wachrufen und sie zu einem gemeinsamen Ziele hinlenken, um uns die sämmtlichen Züge eines idealen Typus, die in vereinzelten Bruchstücken und von wildem Gestrüpp des Zufalles überwuchert in unserer Erinnerung zerstreut daliegen, zu lebensfrischer Anschauung zu verbinden. Nur dadurch scheint sich die der Wirklichkeit so oft überlegene Macht der Kunst über das menschliche Gemüth zu erklären, dass die erstere immer Störendes, Zerstreuendes und Verletzendes in ihre Eindrücke mengt, die Kunst alle Elemente für den beabsichtigten Eindruck sammeln und ungehemmt wirken lassen kann. Die Macht des Eindruckes wird aber unzweifelhaft desto grösser sein, je eindringlicher, je feiner, je reicher die Naturwahrheit des sinnlichen Eindruckes ist, der die Vorstellungsreihen und die mit ihnen verbundenen Affecte wachrufen soll. Er muss

sicher, schnell, unzweideutig und genau bestimmt wirken, wenn er einen lebendigen und kräftigen Eindruck machen soll.“

Nach Veröffentlichung der Lehre von den Tonempfindungen und der physiologischen Optik wandten sich die Gedanken von Helmholtz immer mehr und mehr mathematisch-physikalischen und rein mathematischen Problemen zu; die wenigen physiologischen Arbeiten, die er noch veröffentlichte, knüpften an seine frühesten nervenphysiologischen Untersuchungen an, welche durch den ungeheuren Reichthum seiner neuen Schöpfungen in den letzten Jahren in den Hintergrund gedrängt waren.

Von den physiologisch-optischen Arbeiten geistig übermüdet, war er zu seinem Bedauern gezwungen, die dringende Einladung von Roscoe zum Meeting der British Association abzulehnen, und reiste in den Herbstferien 1866 mit seiner Frau in die Schweiz, wo er mit der Kirchhoff-schen Familie und Bunsen zusammentraf; nach einem kurzen Besuche Norditaliens kehrte er einige Wochen später wieder nach Heidelberg zurück, um seine Nervenarbeiten von Neuem aufzunehmen und wenn möglich zu einem Abschluss zu bringen, da schon Probleme ganz anderer Natur seinen Geist beschäftigten. Am 6. Februar 1867 schrieb er an Wittich:

„Was die Fortpflanzungsgeschwindigkeit in den Nerven betrifft, so habe ich selbst mit einem meiner russischen Laboranten in diesem Winter Versuche gemacht, deren letzte Berechnung noch nicht ganz beendet ist, und die etwa 34 m ergeben; sie beziehen sich aber auf die motorischen Nerven des Menschen, indem ich Zuckungen der Muskeln des Daumenballens am Myographion aufschreiben lasse, die bald vom Handgelenk, bald von der Achselhöhle aus hervorgerufen werden. Wir haben lange an der Methode herumgedüftelt, zuletzt aber sehr schöne und übereinstimmende Resultate erhalten, die an Regelmässigkeit des Erfolges denen meiner alten Methode unendlich überlegen sind. Ich

denke, man wird noch allerlei andere Fragen, z. B. über die angeblich verschiedene Fortpflanzungsgeschwindigkeit in verschiedenen Abschnitten des Nerven damit herausbringen können.“

Er übersandte du Bois am 25. April 1867 für die Akademie eine „Mittheilung, betreffend Versuche über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Reizung in den motorischen Nerven des Menschen, welche Herr N. Baxt aus Petersburg im physiologischen Laboratorium in Heidelberg ausgeführt hat“, deren Empfang ihm du Bois dankend bestätigt, indem er zugleich auf die Klagen von Helmholtz über das Abnehmen seiner Schaffenskraft mit den Worten erwidert: „Ueber das Senesciren der Ganglienkugeln in Deinen grossen Hemisphären kannst Du vorläufig ruhig sein.“

Die ersten Untersuchungen über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Nervenreizes hatte Helmholtz noch am Frosch angestellt, sich dann aber auch an Muskeln und Nerven des lebenden Menschen gewendet. Er basirte seine Versuche darauf, dass der Experimentirende auf eine augenblickliche elektrische Reizung einer mehr oder weniger vom Gehirn entfernten Hautstelle mit einer bestimmten Handlung zu antworten hatte, welche um so später eintrat, je länger die sensible Bahn zum Gehirn gewählt war. Dabei trat aber ein Uebelstand in den von ihm gemachten Messungen darin hervor, dass die Uebertragung der Reizung von den sensiblen auf die motorischen Nerven durch einen Willensact des Experimentirenden geschah, welcher eine willkürliche Bewegung eines Muskels eintreten lassen musste. Wenn dies auch im Allgemeinen im zehnten Theile einer Secunde geschieht, so ergaben sich doch bei verschiedenen Beobachtern und zu verschiedenen Zeiten Differenzen, welche ihn veranlassten, die Versuche an Menschen mittelst des Myographions nach der Methode wieder aufzunehmen, welche sich für die motorischen Nerven des Frosches als so sehr geeignet erwiesen hatte. Diesen Versuchen stellte sich aber

vor allem eine Schwierigkeit in dem Umstande entgegen, dass momentane Reizungen der motorischen Nerven des Menschen sich nicht in vollständig unveränderter Form durch längere Nervenstrecken fortpflanzen. Es musste deshalb dafür Sorge getragen werden, dass der elektrische Schlag für die obere Stelle des Nerven so weit abgeschwächt wurde, bis die von ihm erregte Zuckung dieselbe Stärke und Höhe erhielt, wie das Zuckungsmaximum von der unteren Stelle aus erregt; dann hatte man zwei momentane Erregungen des Nerven, welche gleiche mechanische Wirkungen nach aussen hervorbrachten, und es gehörte somit die Verzögerung der Wirkung bei Reizung der oberen Stelle nur der Leitung im Nerven an. Die durch das Myographion gezeichneten Curven schienen zunächst nachzuweisen, dass schwächere Reizungen sich im Nerven langsamer fortpflanzen als stärkere, und drei längere Versuchsreihen ergaben Fortpflanzungsgeschwindigkeiten von ungefähr 31, 33, 37 m in der Secunde.

Aeussere Umstände liessen eine Unterbrechung der Versuche eintreten, und Helmholtz nahm erst drei Jahre später dieselben wieder auf. Er wies in einer am 31. März 1870 der Berliner Akademie unter dem Titel „Neue Versuche über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Reizung in den motorischen Nerven des Menschen, ausgeführt von N. Baxt in Petersburg“ nach, dass nach den mit Hülfe des Pendelmyographions von Fick angestellten Versuchen in vollkommener Uebereinstimmung mit dem bei den Froschversuchen Wahrgenommenen die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Reizung in den Nerven bei höherer Temperatur, beispielsweise des Armes, über doppelt so gross ausfiel als bei niederer.

„Das sind ja höchst merkwürdige Dinge“, schreibt ihm du Bois am 4. April 1870, „eine solche Abhängigkeit von der Temperatur ist ja unerhört; man müsste meinen, im Fieber müsste dann das Verhältniss der Geschwindigkeiten ein ausserordentlich grosses werden. Für Dich ist es sehr

angenehm, und ich freue mich darüber, dass so Deine erste Angabe der 60 m-Geschwindigkeit ihre Erklärung erhält."

Die Fortsetzung dieser Versuche, die er unter dem Titel „Ueber die Zeit, welche nöthig ist, damit ein Gesichtseindruck zum Bewusstsein kommt. Resultate einer von Herrn N. Baxt im Heidelberger Laboratorium ausgeführten Untersuchung" am 8. Juni 1871 der Akademie vorlegte, ergab eine weitere Reihe sehr interessanter und für die Optik sehr wichtiger Resultate. Da die positiven Nachbilder unter günstigen Bedingungen bis zu 12 Secunden dauern, und während dieser Zeit die Formen der grösseren Gegenstände im Nachbilde noch erkennbar bleiben, so wird bei kürzester Dauer des Lichtreizes immer eine gewisse Zeit gegeben sein, während welcher der Beobachter mittelst des Nachbildes eine Reihe von Einzelheiten des gesehenen Objectes wahrnehmen kann, zu deren Beobachtung ihm der unmittelbare Lichtreiz keine Zeit gelassen haben würde. Will man also die Zeit ermitteln, die für das Bewusstwerden eines mehr oder minder zusammengesetzten Gesichtsbildes nöthig ist, so muss man das positive Nachbild durch einen neu eintretenden mächtigen Lichteindruck so übertäuben, dass es seinen Werth für die Wahrnehmung verliert.

Nun hatte Helmholtz schon früher das Tachistoskop construirt, in welchem der Beobachter durch einen Schlitz einer rotirenden Scheibe für eine sehr kurze Zeitdauer das Object erblickt, während unmittelbar nachher an Stelle des Schlitzes ein schwarzer, danach ein hell beleuchteter weisser Sector der Scheibe tritt, dessen Beleuchtung das Nachbild auslöschen soll. Mit Hülfe dieses Apparates ergab sich nun, in bestimmten Zahlenverhältnissen ausgedrückt, dass grosse räumliche Differenzen im Gesichtsfelde, sowie grosse Helligkeitsdifferenzen schneller wahrgenommen werden als kleine; es zeigte sich zugleich in auffallender Weise der Einfluss verschiedener als Objecte benutzter Figuren, je nachdem sie mehr oder weniger bekannt, einfacher oder verwickelter

waren. Helmholtz fügt endlich noch eine Beobachtung hinzu, die er schon viel früher gemacht hat; wenn er einen dauernd hellen Punkt im dunkeln Felde vor sich als Fixationspunkt benutzte, war es ihm möglich, ohne diesen Fixationspunkt zu verlassen, die Aufmerksamkeit schon vor der Beleuchtung durch einen Funken auf diesen oder jenen Theil des dunkeln Feldes hin zu richten und dann das zu sehen, was dort erschien.

„Es scheint mir dies eine Thatsache von grosser Wichtigkeit zu sein, weil sie zeigt, dass das, was wir das willkürliche Richten der Aufmerksamkeit nennen, eine von Bewegungen der äusseren beweglichen Theile des Körpers unabhängige Veränderung in unserem Nervensystem ist, wodurch Reizungszustände gewisser Fasern vorzugsweise zum Bewusstsein gelangen.“

Diese Untersuchungen wurden sehr bald der Ausgangspunkt für die wichtigsten Ermittelungen der späteren Psychophysik; mit ihnen schloss Helmholtz die Reihe seiner rein physiologischen Untersuchungen ab und wandte sich zunächst der Mechanik der Physiologie, dann jedoch fast ausschliesslich der Physik und Mathematik zu, um auch hier wieder Epochemachendes zu schaffen.

Von grösster Bedeutung für die Mechanik der physiologischen Akustik wurden die zunächst kurz in ihren wesentlichen Resultaten am 26. Juli und am 9. August 1867 in Heidelberg unter dem Titel „Ueber die Mechanik der Gehörknöchelchen“ mitgetheilten und dann im Jahre 1869 in Pflüger's Archiv für Physiologie unter der Bezeichnung „Die Mechanik der Gehörknöchelchen und des Trommelfelles“ ausführlich veröffentlichten Untersuchungen über die äusserst schwierige, feinere Anatomie des inneren Ohres, in denen Helmholtz den Mechanismus der Schwingungen des Trommelfelles und der Gehörknöchelchen behandelt. Riemann, „dieser mit so ungewöhnlicher Penetrationskraft ausgerüstete Geist“, hatte in einer nachgelassenen, in der

Zeitschrift für rationelle Medicin veröffentlichten Notiz als die Hauptaufgabe der Mechanik des Ohres bezeichnet, die Möglichkeit zu erklären, dass der Trommelhöhlenapparat so ausserordentlich fein abgestufte Bewegungen von der Luft auf das Labyrinthwasser übertrage. Er hatte zu dem Zwecke eine Theorie auf die Annahme gestützt, dass der Paukenhöhlenapparat völlig treu die Druckänderung der Luft in jedem Augenblick, in constantem Verhältniss vergrössert, auf das Labyrinthwasser überführe. Helmholtz dagegen, welcher schon unmittelbar nach Abschluss seiner physiologischen Optik diese Untersuchungen durchführte, ohne noch Riemann's Notizen zu kennen, findet es in seinen theoretischen Betrachtungen für die Genauigkeit der Wahrnehmung nur erforderlich, dass jeder Ton von constanter Höhe immer wieder, so oft er vorkommt, eine Empfindung von gleicher Art und Intensität auslöse.

„Riemann's akustisches Problem", schreibt Helmholtz an Schering, „hatte mich ebenfalls schon eine Zeit lang beschäftigt; die empirische Lösung, wie sie im menschlichen Ohre ausgeführt ist, ist freilich eine andere, als er sich vorgestellt hatte."

Der von Ed. Weber freilich nur angedeuteten Anschauung, dass die Gehörknöchelchen und das Felsenbein bei der Leitung der Schallschwingungen als feste, incompressible Körper, und dass das Labyrinthwasser als incompressible Flüssigkeit zu betrachten sind, legt Helmholtz zunächst die grösste Bedeutung bei. Er macht die Annahme, dass es sich nicht um Fortleitung von Verdichtungs- und Verdünnungswellen in diesen Körpern und Flüssigkeiten handle, sondern dass die Gehörknöchelchen als feste Hebel, das Labyrinthwasser als eine nur im Ganzen zu bewegende Flüssigkeitsmasse aufzufassen seien, zur Basis seiner Untersuchungen und sucht zunächst diese fest zu begründen. Wenn in einem unendlich ausgedehnten elastischen Medium ebene, einem einfachen Ton entsprechende Wellen erregt werden,

so wird zwischen den Grenzen äusserster Verschiebung, welche immer mindestens um eine halbe Wellenlänge aus einander liegen, der Unterschied in der Verschiebung zweier oscillirender Theilchen, deren Entfernung verschwindend klein gegen die Wellenlänge ist, selbst verschwindend klein sein gegen die ganze Amplitude der Verschiebung. Für einen kleinen Theil der schwingenden Masse, dessen Dimensionen gegen die Wellenlänge unendlich klein sind, werden also auch die relativen Verschiebungen der einzelnen Punkte gegen einander verschwindend klein sein müssen im Vergleich mit der Amplitude der ganzen Schwingung, welche selbst verschwindend klein gegen die Wellenlänge ist. Die relativen Verschiebungen der kleinen Masse gegen einander sind somit verschwindend kleine Grössen zweiter Ordnung im Vergleich zur Wellenlänge, und verschwindend kleine Grössen erster Ordnung im Vergleich zu den Amplituden der Schwingung und zu den linearen Dimensionen der kleinen Masse, und diese bewegt sich daher wie ein absolut fester Körper.

Helmholtz zeigt weiter mit Zugrundelegung der von Kirchhoff entwickelten Gleichgewichtsbedingungen eines unendlich dünnen elastischen Stabes durch Anwendung des d'Alembert'schen Princips, dass jener Satz bestehen bleibt, wenn die Masse nicht unendlich ausgedehnt ist nach allen Seiten, sondern Grenzen hat, an denen die Schallwellen in das Innere der Masse zurückgeworfen werden, vorausgesetzt, dass entweder keine einzelne Dimension der schwingenden Masse sehr klein im Vergleich zur Wellenlänge ist oder dass dies mit allen Dimensionen der schwingenden Masse gleichzeitig geschehe. Alle Dimensionen der elastischen festen und flüssigen Massen, welche den Gehörapparat zusammensetzen, sind nun sehr kleine Bruchtheile der Wellenlängen derjenigen Töne, die gewöhnlich vorkommen, und gegen die unser Ohr gut empfindlich ist. Deshalb darf er die Weber'sche Hypothese als erwiesen betrachten,

und von der Annahme ausgehen, dass die Geschwindigkeit, womit sich die Einwirkung jeder Kraft auf diese kleinen Massen durch diese hin verbreitet, so gross ist, dass die zur Verbreitung des Anstosses nöthige Zeit im Vergleich zur Dauer der Schallschwingungen als verschwindend klein und die Einwirkung daher als augenblicklich durch die ganze Masse verbreitet betrachtet werden kann. Diese Annahme trifft zu, wenn man die Wände des Felsenbeines als relativ fest für die geringen in Betracht kommenden Druckkräfte und das Labyrinthwasser, weil dessen Dimensionen verschwindend klein gegen die Wellenlänge sind, als incompressibel betrachtet. Da jedoch die Herleitung nur für Körper galt, an denen keine ihrer linearen Dimensionen gegen die übrigen verschwindend klein ist, so wird jene Annahme für das Trommelfell nicht erfüllt sein, und es müssen deshalb die Schwingungen des Trommelfelles besonders in Rücksicht gezogen werden.

Helmholtz erörtert nun zunächst die Anatomie des Trommelfelles und zeigt, dass dasselbe aus radialen und ringförmigen, aus Sehnensubstanz gebildeten Faserzügen besteht und nicht als elastisch nachgiebige, sondern als eine fast unausdehnsame Membran aufzufassen ist, die sich nicht wie ein Kautschukblatt ausdehnt, sondern einem seitlichen Zuge sehr kräftig widersteht. Er vergleicht weiter auf Grund einer genauen anatomischen Untersuchung von Hammer und Amboss das Gelenk zwischen beiden mit den Gelenken der mit Sperrzähnen versehenen Uhrschlüssel, welche in einer Richtung frei drehbar, in der anderen, wenn sich ihre Sperrzähne auf einander stemmen, nicht die kleinste Drehung erlauben, und folgert daraus, dass der Hammer, wenn er mit seinem Stiel nach innen gezogen wird, den Amboss fest packt und mitnimmt, während, wenn er nach aussen getrieben wird, der Amboss nicht mitzugehen braucht. Wie er durch eine genaue Untersuchung der Bewegung des Steigbügels zeigt, kann dieser nicht aus dem ovalen Fenster ge-

rissen werden, wenn die Luft im Gehörgang erheblich verdünnt wird, und es ist eine zu grosse Eintreibung des Hammers durch Verdichtung der Luft im Gehörgang verhindert, da sie durch die Spannung des trichterförmig eingezogenen Trommelfelles kräftig gehemmt wird. Somit bleibt für die Untersuchungen der Schwingungen im Ohre nur noch die Mechanik des Trommelfelles zu entwickeln übrig, wenn dasselbe als eine gespannte, aber gekrümmte Membran betrachtet wird, deren Spannung bedingt ist durch den Handgriff des Hammers, der es in der Mitte, dem Nabel, nach innen zieht und der selbst in dieser Lage durch seine Befestigungsbänder und durch die Elasticität des Trommelfellspanners erhalten wird. Dabei werden die radialen Faserzüge desselben nach aussen convex gewölbt sein, so dass sie gegen die Spitze des Hammergriffes in einer nahehin rechtwinkeligen Kegelspitze convergiren, und es wird am ruhenden Trommelfell keine andere Kraft als die Spannung der Ringfasern die Radialfasern in ihrer gekrümmten Form erhalten können.

Bei den Schallerschütterungen wirkt nun der Luftdruck bald gegen die convexe, bald gegen die concave Fläche des Trommelfelles, je nachdem er abwechselnd im Gehörgange grösser oder kleiner ist als in der Trommelhöhle. In jedem Falle wirkt er in einer Richtung, welche senkrecht ist zur Fläche der Membran, also auch senkrecht gegen die Wölbung der Radialfasern, die er bald zu vermindern, bald zu vermehren strebt. Nun ist aber, wenn ein gerader Faden in einen Bogen übergeführt wird, die Differenz aus der Länge des Fadens und der zu dem Bogen gehörigen Sehne oder die Verkürzung der Sehne des Bogens dem Quadrate der Verschiebung seiner Mitte proportional, und es ist bei sehr flachen Bögen, deren Wölbung zunimmt, die Verschiebung ihrer Endpunkte verschwindend klein gegen die Verschiebung ihrer Mitte. Weil nun der Luftdruck die unausdehnbaren Radialfasern des Trommelfelles zu verschieben strebt, während die Wirkung auf den Hammer-

griff nur von der geringen Verlängerung oder Verkürzung ihrer Sehne abhängt, folgt, dass der Luftdruck eine verhältnissmässig grosse Verschiebung der Mitte dieser Bögen bewirken muss, um eine sehr kleine Verschiebung des Hammergriffes und der Knöchelchen hervorzubringen. Andererseits ist aber bekannt, dass die Spannung der Faser unter Wirkung des Luftdruckes dem Drucke direct und der Krümmung umgekehrt proportional ist, so dass der Zug bei einem sehr flachen Bogen jede beliebige Höhe erreichen kann. Die Krümmung der Radialfasern wird nun aber nicht durch den Luftdruck, sondern durch die Spannung der Ringfasern unterhalten und durch den Luftdruck nur vermindert und vermehrt, während die Spannungsänderungen der Radialfasern des Trommelfells die Schallerschütterungen auf den Griff des Hammers übertragen. Es werden somit bei sehr flach gespannten Radialfasern der Membran die Spannungsänderungen sehr beträchtliche Grössen bei verhältnissmässig geringen Aenderungen des Luftdruckes erreichen, wobei wie beim Hebel bei gesteigerter Kraftwirkung die Excursionen des Hammerstiels geringer werden. Das Labyrinth bleibt jedenfalls vermöge der angegebenen anatomischen Beschaffenheit vor Extremen des Druckes geschützt, während doch die Wirkung kleiner Druckschwankungen durch die geschilderten Verhältnisse ausserordentlich kräftig gemacht werden kann. Da nun aber die Meridianbogen des Trommelfelles unter einander zusammenhängen, ihr gegenseitiger Abstand sich gegen den festgehefteten Rand der Membran hin vergrössert, und sie durch die Ringfasern mit einander verbunden sind, so legt Helmholtz, um ein mehr den wirklichen Verhältnissen entsprechendes Abbild zu haben, ein ideales Trommelfell zu Grunde, welches kreisrund, rings um die Mitte symmetrisch gestaltet und in seiner Mitte kegelförmig eingezogen ist, also eine Rotationsfläche bildet.

Um nun die Form einer durch den Luftdruck allein gespannten Membran mit unausdehnsamen Radialfasern zu

finden, geht er von einem allgemein gültigen Principe der Mechanik aus: wo das Gesetz von der Erhaltung der Kraft seine Anwendung findet, tritt stabiles Gleichgewicht nur dann ein, wenn unter allen benachbarten Lagen, in welche das System continuirlich übergehen kann, die Gleichgewichtslage diejenige ist, in welcher die von den es angreifenden inneren und äusseren Kräften geleistete Arbeit ein Maximum ist. In der Gleichgewichtslage der Membran muss also die Summe der durch die Zusammenziehung ihrer elastischen Ringfasern geleisteten Arbeit ein Maximum sein. Indem er nun den Ueberschuss des Luftdruckes auf der oberen und unteren Seite der Membran mit der Arbeit zusammensetzt, welche von einer das Centrum der Membran angreifenden und der Axe parallelen Kraft geleistet wird, kann er das Problem mit Hinzufügung der Bedingung der Unausdehnbarkeit der Radialfasern nach bekannten Methoden als eine Aufgabe der Variationsrechnung behandeln. Er findet mit Hülfe der Theorie der elliptischen Integrale als Lösung eine Rotationsfläche mit fest bestimmter Meridiancurve, der in der That das Trommelfell, wenn man von der durch den oberen Theil des Hammerstieles verursachten Asymmetrie absieht, ähnlich gestaltet ist.

Um nun die akustischen Wirkungen solcher gekrümmter Membranen zu untersuchen, spannte er ein nasses Stück Schweinsblase über einen senkrecht stehenden Glascylinder, stellte auf deren Mitte einen mit Metallstücken belasteten Stab und hatte nach dem Trockenwerden der Blase dauernd eine ähnliche Form wie das Trommelfell mit eingezogenem Nabel und nach aussen convex gekrümmten Meridianlinien. Wurde dann das andere Ende des Stäbchens als Steg für eine Darmsaite benutzt, welche auf einem nicht resonirenden starken Brette ausgespannt war, so gab die Membran eine einer Violine ähnliche mächtige Resonanz, wenn sie nur 4 cm Durchmesser hatte. Die Analogie mit dem Trommelfell besteht nun darin, dass auch hier die gekrümmte Mem-

bran die Leitung herstellt zwischen der Luft und einem dichteren Körper von mässigem Gewicht und relativ geringer Schwingungsamplitude, dem Labyrinthwasser; es muss somit nach dem von ihm früher bewiesenen Reciprocitätsgesetze auch die Leitung des Schalles von der Luft zum Labyrinthwasser leicht von Statten gehen. Durch höchst sinnreiche Versuche bestimmte er endlich die Resonanztöne, welche bei bedecktem menschlichen Ohre der schwingungsfähige Apparat giebt, welchen das Trommelfell in seiner Verbindung mit den Gehörknöchelchen, dem Labyrinthwasser und der Luft in der Trommelhöhle bildet, und gelangt dabei zu der Ansicht, dass das Muskelgeräusch ein Resonanzton des Trommelfelles ist, hervorgebracht durch unregelmässige Erschütterungen der Muskeln.

Die Ausführung dieser Arbeit, welche ein Muster feinster anatomischer Forschung, genialer physikalischer Methode und tiefer mathematischer Analyse ist, hatte ihn, nachdem er die Grundzüge der Untersuchung bereits im Sommer 1867 in Heidelberg kurz mitgetheilt, den ganzen folgenden Winter hindurch in Anspruch genommen. Im August 1867 besuchte er zur Zeit der Weltausstellung den ophthalmologischen Congress in Paris und hielt dort einen Vortrag „Sur la production de la sensation du relief dans l'acte de la vision binoculaire“, in welchem er einen Theil der neuen, in seiner physiologischen Optik enthaltenen Untersuchungen skizzirte.

„Vorgestern und gestern“, schreibt er am 14. August 1867 seiner Frau, „habe ich die Vormittage auf dem ophthalmologischen Congresse zubringen müssen, wo ich sehr gefeiert wurde. Graefe ist hier, aber leider weder Donders noch Bowmann. Ich wurde feierlich mit Acclamation von der Gesellschaft empfangen, musste mich dann zu einem Vortrage verstehen, den ich gestern früh in französischer Sprache gehalten habe, natürlich ex tempore, denn zum Präpariren war keine Zeit . . . Ich war zum Bankett

der Gesellschaft bei Véfour invitirt; gleich der erste Toast ging auf mich von Graefe ausgebracht, worauf ich antworten musste, dann kam später noch ein anderer Toast auf mich, ein Vers, den Bowmann's Freund, Critschett, machte und ein junger Spanier vortrug, in dem Style: L'ophthalmologie était dans les tenèbres — Dieu parla, que Helmholtz naquit — Et la lumière est faite! Du siehst, dass ich das Rothwerden allmählich verlernen musste."

Alle Briefe aus Paris an die mit den Kindern in Tegernsee weilende Gattin wiederholen das innige Bedauern, dass er seine Frau gerade in Paris entbehren sollte, wo sie vermöge ihres früheren langen Aufenthaltes noch weit mehr als er selbst Freude und Genuss an den Anregungen der Ausstellung und dem Verkehr mit allen hervorragenden Persönlichkeiten, welche jetzt dort weilten, gehabt haben würde.

„Aber der liebe Gott", antwortet ihm seine Frau, „hat dem armen Robert nun einmal eine normale Existenz versagt, und da muss er unsere erste Sorge sein und bleiben. Dass ich diese Reise nicht mit Dir machen konnte, ist mir vielleicht das schwerste Opfer gewesen; doch ist's eine Kleinigkeit, wenn man dagegen die ganze lange Trübsal seiner halben Existenz vergleicht. Und die Zukunft wird weder für ihn noch für uns leichter werden, das weiss ich mit jedem Tage mehr, wenn es auch nicht viel hilft, darüber zu reden."

Zur Erholung von den Anstrengungen des Pariser Aufenthaltes musste Helmholtz das Gebirge aufsuchen, „die Festlichkeiten etc. bei der Gluthhitze waren so aufreibend, dass ich wieder anfing, Ohnmachten zu bekommen, die Jahre lang ausgeblieben waren". Als er nach einigen Wochen erfrischt nach Heidelberg zurückgekehrt war, versenkte er sich in seine mechanisch-akustischen, mathematisch-philosophischen, hydrodynamischen und elektrischen Untersuchungen. Er schreibt am 19. November 1867 an Donders:

„Im Augenblicke warte ich auf neue akustische Instru-

mente und treibe mich mit psychologischen Ueberlegungen herum, die Principien der Raumanschauung und die wortlosen Seelenthätigkeiten bei den Sinneswahrnehmungen betreffend. Ich glaube, dass man von diesem letzteren Capitel wohl eine bessere Analyse geben könnte, als die Philosophen bisher gemacht haben ..... Die Franzosen scheinen jetzt allmählich an meinen Tonempfindungen anzubeissen, und zwar besser als wenigstens die deutschen Musiker."

Seine grossen Verdienste um die Akustik und die Theorie der Musik fanden in diesem Jahre eine erneute Anerkennung des Königs von Bayern, welcher ihm den Maximilian-Orden für Wissenschaft und Kunst verlieh.

In diesem Winter stimmte auch Helmholtz wie G. Wiedemann dem Gedanken zu, eine Uebersetzung der Tyndall'schen Vorträge über „Die Wärme betrachtet als eine Art der Bewegung" von ihren Frauen in Angriff nehmen zu lassen, freilich unter sorgfältiger Controle des wissenschaftlichen Inhalts und versehen mit selbst verfasstem und unterzeichnetem Vorwort; gewisse Bedenken von Wiedemann beseitigt Helmholtz am 1. December 1867 mit den Worten: „Meine Frau findet nichts Anstössiges dabei, wenn Freunden mitgetheilt wird, wer die Uebersetzung gemacht hat; sie meint, es wäre anstössiger, wenn die Welt meinte, dass Sie und ich unsere Zeit damit verschwendet hätten."

In der That erscheint schon im Jahre 1871 die Uebersetzung der Tyndall'schen Vorträge über die Wärme, und bereits ein Jahr früher die Uebertragung von dessen Gedenkschrift „Faraday as a discoverer" mit einer interessanten Vorrede von Helmholtz, in welcher dieser seiner grossen Verehrung gegen Faraday herrliche Worte leiht. Wir wissen von früher, mit welcher Liebenswürdigkeit Faraday wiederholt Helmholtz bei dessen Besuchen in England entgegenkam; „die vollkommene Einfachheit, Bescheidenheit und ungetrübte Reinheit seiner Gesinnung hatte etwas Bezauberndes, wie ich es bei keinem anderen Manne je wieder

kennen gelernt habe". Aber bei dem Entschluss Helmholtz's, diese Schrift von Tyndall zu übersetzen, trat das persönliche Moment ganz in den Hintergrund; auch die Freude zu schildern, wie Faraday mit einem unbegreiflichen Instincte die folgenschwersten naturwissenschaftlichen Entdeckungen gemacht hatte, für die er selbst die Gedankenverbindungen, welche ihn dazu geleitet, später nicht mehr klar wiederzugeben vermochte, war für ihn nicht allein bestimmend. Faraday's Entwickelung schien ihm vielmehr ein grosses allgemein menschliches Interesse für viele theoretische Fragen der Psychologie und mannigfache praktische Probleme der Erziehungskunst zu haben, und es war ihm eine interessante Erscheinung, dass der dem frommen Glauben der kleinen Secte seiner Eltern treu gebliebene Sohn eine philosophische Ader aufwies, die ihn „unter die Vordersten in der allgemeinen wissenschaftlichen Gedankenarbeit unseres Zeitalters sich einreihen liess". Charakteristisch sind die Worte von Helmholtz, in welchen er im Grunde, ohne es direct auszusprechen, das Facit der Forschungen zieht, an denen er selbst in den verflossenen dreissig Jahren seines Lebens so gewaltig mitgewirkt und geschaffen:

„Nachdem unsere Zeit in ihrem wohlberechtigten Streben, das menschliche Wissen vor allen Dingen zum treuen Abbilde der Wirklichkeit zu machen, viele alte metaphysische Götzenbilder zerschlagen hatte, blieb sie stehen vor den überlieferten Formen der physikalischen Begriffe der Materie, der Kraft, der Atome, der Imponderabilien, ja diese Namen wurden zum Theil die neuen metaphysischen Stichworte derer, die sich am meisten in der Aufklärung vorgeschritten zu sein dünkten. Diese Begriffe nun sind es, die Faraday in seinen reiferen Arbeiten immer und immer wieder von Allem zu reinigen sucht, was sie Theoretisches enthalten und was nicht unmittelbarer und reiner Ausdruck der Thatsachen ist."

In demselben Jahre erschien auch der erste Theil des

ersten Bandes des von ihm und Wertheim ins Deutsche übertragenen Handbuchs der theoretischen Physik von W. Thomson und P. G. Tait mit einer kurzen Vorrede von Helmholtz, in welcher er William Thomson, einem der durchdringendsten und erfindungsreichsten Denker, den Dank der naturwissenschaftlichen Welt dafür abstattet, dass er uns in die Werkstatt seiner Gedanken einzuführen und die leitenden Fäden auseinanderzuwickeln unternommen, welche ihm den widerstrebenden und verwirrten Stoff zu beherrschen und zu ordnen geholfen haben. Er hebt hervor, dass in diesem Werke der physikalische Zusammenhang im Gegensatz zu der Eleganz der mathematischen Methoden bevorzugt sei. „Wird die Wissenschaft einst vollendet sein, so werden die physikalische und mathematische Consequenz vielleicht zusammenfallen."

Erst im Jahre 1874, in welchem auch die von ihm und Wiedemann übersetzten Vorlesungen von Tyndall über den Schall erschienen, wurde der zweite Theil des ersten Bandes der theoretischen Physik von Thomson veröffentlicht mit einer am Ende des Jahres 1873 verfassten Vorrede, „Kritisches", überschrieben. Später selbständig unter dem Titel „Induction und Deduction" erschienen, enthält diese eine Abwehr der von Zöllner gegen Thomson und Helmholtz gerichteten Angriffe, welche Helmholtz in hohem Grade aufgeregt und betrübt haben; „einige schlaflose Nächte hat mich das Buch von Zöllner übrigens gekostet", schreibt er an Ludwig, „ich habe keine Ahnung davon gehabt, dass hinter der Masse von Beifall, mit dem man mich zu verfolgen pflegt, sich so viel verbitterter Neid in einzelnen Gemüthern verbirgt"; aber nicht lange nachher musste er erkennen, dass diese Angriffe auf einer unglücklichen Geistesanlage des nach vielen Richtungen hin so verdienten Forschers beruhten, und wir lassen sie daher hier besser unerörtert. Nur eine allgemeiner interessante Stelle aus einem von Blaserna an mich gerichteten Briefe möge hier hervorgehoben werden:

„Einer der unangenehmsten Punkte in der reichen und belebten Existenz unseres Denkers war der platte Anfall Zöllner's gegen ihn und andere Gelehrte. Ich wusste mir dies nicht zu erklären, und nur später erfuhr man, dass Zöllner durch den unternehmenden Schwindler Slade zum Spiritismus bekehrt worden war. Sein Hass war daher in erster Linie gegen Tyndall gerichtet, der in England eine sehr unternehmende Campagne gegen den Spiritismus geführt hatte, und dann erst gegen Helmholtz, der die Arbeiten Tyndall's ins Deutsche hatte übersetzen lassen und seinen Namen zu der Uebersetzung hergegeben hatte. Er sprach sehr häufig davon; wir hatten auch bald herausgefunden, dass die Lösung der sogenannten spiritistischen Probleme bei den Taschenspielern zu suchen sei. Bosco, der grosse und geniale Schöpfer der modernen Taschenspielkunst, pflegte beim Beginn einer Aufführung zu sagen, dass in seinen Productionen keine ausserordentlichen, übernatürlichen Kräfte ins Spiel kommen, sondern bloss etwas Geschicklichkeit; aber wenn es ihm geglückt wäre, alle Welt zu täuschen, so bäte er sich etwas Anerkennung von Seite des Publikums aus. Und er machte wirklich ganz überraschende Spiele, in der Nähe des Publikums und in vollem Licht, viel überraschendere Spiele, als der ganze Spiritismus je zu Stande gebracht hat.

So oft ein Taschenspieler nach Pontresina kam, konnte er auf Helmholtz's und meine Clientel rechnen. Wir sassen da in den ersten Reihen, und es war ein grosser Wettstreit dann, zu sehen, wer von uns das eine oder andere Spiel zu erklären im Stande war. Oft gelang es uns, oft aber auch nicht. „Das ist eine sehr angenehme geistige Gymnastik", meinte Helmholtz, „und man kann gar nicht wissen, ob wir sie eines Tages nicht gebrauchen werden."

Und ganz damit in Uebereinstimmung hat sich Helmholtz selbst viel später in einem „Suggestion und Dichtung" betitelten Gutachten geäussert:

„Geehrter Herr! Wissenschaftliche Studien über die Frage, die Sie stellen, habe ich nie gemacht; was ich davon weiss, ist mir nur durch Zufall zugetragen worden. Aber ich kenne aus langer Erfahrung die Wundersucht des 19. Jahrhunderts und die Hartnäckigkeit, mit der solcher Glauben auch die handgreiflichsten Nachweise grober Täuschungen überwindet; denn meine Jugend reicht noch in die Zeit zurück, wo der thierische Magnetismus blühte. Seitdem sind viele verschiedene Phasen derselben Geistesrichtung einander gefolgt. Jede einzelne hat nur eine beschränkte Lebensdauer; häufen sich die Enttäuschungen zu sehr, so ändert man eben die Methode.

Wenn Sie mich fragen, warum ich mich nicht eingehender damit befasst habe, so kann ich Ihnen nur antworten, dass meine Zeit immer sehr in Anspruch genommen gewesen ist mit Beschäftigungen, die ich für nützlicher gehalten habe, als wundersüchtige Leute zu kuriren, die nicht kurirt sein wollten. Und andererseits musste ich mir sagen, dass, wenn mir der Nachweis einer Täuschung gelang, ich nicht hoffen durfte, viel Eindruck auf die Gläubigen zu machen. Wenn es mir aber nicht gelang, so hätte ich ihnen ein vortreffliches Argument gegen mich in die Hände gespielt. Und da ich durchaus nicht im Stande bin, die Mehrzahl der Kunststücke, die mir ein gewandter Taschenspieler vorführt, zu entziffern, so kann ich auch nicht unternehmen, alle magnetischen oder spiritistischen oder hypnotischen Wunder, die man mir etwa zeigen sollte, zu erklären; um so weniger, als meistentheils die gesellschaftliche Stellung oder das Geschlecht der Mitwirkenden eine wirklich überzeugende Untersuchung verbieten; schliesslich auch oft genug der geschickte Vorwand gebraucht wird, dass die Anwesenheit eines hartnäckig Ungläubigen den Zauber störe.

Mich hat bei diesen Dingen eigentlich immer nur das psychologische Phänomen der Gläubigkeit interessirt, und

die Rolle des Täuschenden habe ich deshalb zuweilen beim Tischrücken oder Gedankenlesen mit Erfolg übernommen, natürlich mit dem späteren Eingeständniss, dass ich der Sünder gewesen war.

Wenn Sie nach diesen Erklärungen nun noch meine private Meinung interessirt, so kann ich mich nur ganz und voll meinem Freunde und Collegen Herrn E. du Bois-Reymond anschliessen. — Dass übrigens in den hypnotischen Erscheinungen ein Kern von Wahrheit steckt, will ich nicht leugnen. Nur was davon wahr ist, würde kaum sehr wunderbar erscheinen.

Ueber die Anwendung solcher mystischer Einwirkungen in der Poesie kann ich nur als Zuschauer und Leser reden. Da finde ich, dass ich nur für zurechnungsfähige Seelen Verständniss und Mitfühlen habe. Zaubermittel sind mir nicht anstössig, wenn sie nur eine abgekürzte Darstellung eines natürlichen Seelenvorgangs geben sollen, der in Wirklichkeit mehr Zeit und Zwischenstadien fordern würde. Wo das nicht zutrifft, erlischt meine Theilnahme an dem Vorgange sogleich, wofür die theoretische Erklärung ja auch nahe liegt.“

Aus der Vorrede zu dem Thomson'schen Werke möge noch die Gegenüberstellung des Newton'schen und Weber'schen Gesetzes und die Kritik des letzteren hervorgehoben werden, wie er sie genauer in seinen elektrodynamischen Arbeiten durchführt. Es sind aber auch die allgemeinen Betrachtungen über die Scheidung der inductiven und deductiven Methode in der Forschung von hohem Interesse, in denen er die letztere nicht bloss als eine berechtigte, sondern als eine geforderte bezeichnet, wenn es sich um die Prüfung der Zulässigkeit einer Hypothese handelt, die darauf beruht, dass wir uns alle Folgerungen, welche sich aus dieser ergeben, zu entwickeln suchen, um sie mit den beobachtbaren Thatsachen zu vergleichen. Den Schluss der Vorrede bilden einige geistvolle Bemerkungen über die

von Thomson aufgestellte, von Helmholtz als nicht unwahrscheinlich zugegebene Hypothese, dass organische Keime in den Meteorsteinen vorkommen und den kühl gewordenen Weltkörpern zugeführt werden.

Allmählich wenden sich nun seine wissenschaftlichen Interessen und Forschungen von der Physiologie immer mehr, fast ausschliesslich der Physik und Mathematik zu, und es war nur natürlich, dass in Helmholtz der Wunsch aufkam, auch seine Lehrthätigkeit mehr nach dieser Seite hin verlegen zu können.

Im Sommer 1868, während seine Frau zur Kräftigung und Heilung des Sohnes Robert an der Ostsee weilte, und Helmholtz selbst durch Vorlesungen, Laboratorium und wissenschaftliche Arbeiten aufs Aeusserste in Anspruch genommen, sogar in den freien Stunden seinem Sohne Richard Unterricht in der ebenen Trigonometrie ertheilte, um diesen für das Polytechnicum in Stuttgart vorzubereiten, spielten sich die Verhandlungen mit Bonn zur Uebernahme der physikalischen Professur ab, welche ihm viel Aufregungen und Unannehmlichkeiten verursachten.

Schon einmal war die Preussische mit der Badischen Regierung in einen Wettstreit um den Besitz von Helmholtz gerathen, und es war, als Helmholtz von Bonn nach Heidelberg berufen wurde, nicht nur eine Vermuthung von du Bois gewesen, dass von hoher Stelle in die Verhandlungen eingegriffen worden sei. In der That hatte am 17. April 1858 der damalige Prinzregent, der nachherige Kaiser Wilhelm, auf Veranlassung seiner Gemahlin, der späteren Kaiserin Augusta, an den Staatsminister v. Raumer das nachfolgende Schreiben gerichtet:

„Bevor Ich auf Ihren Bericht vom 10. v. M. dem ordentlichen Professor der Anatomie in der medicinischen Facultät zu Bonn Dr. Helmholtz die von ihm nachgesuchte Entlassung aus seinem bisherigen Dienstverhältniss ertheile, sehe Ich in Betracht, dass nach Ihrem Bericht vom 15. Juni

v. J. sein Abgang als ein empfindlicher Verlust für die Universität zu betrachten ist, Ihrer Aeusserung entgegen, ob es nicht möglich ist, die seinerseits mit der Grossherzoglich Badischen Regierung getroffene Uebereinkunft rückgängig zu machen, und eventuell welche Bedingungen er für sein Verbleiben stellt, sowie an welchen seinerseits gestellten Forderungen die im vorigen Jahr von Ihnen dieserhalb mit ihm gepflogenen Unterhandlungen gescheitert sind."

Und bald darauf, am 28. Mai 1858, nachdem der Minister eine schriftliche Darlegung der Verhandlungen gegeben, war eine weitere Ordre gefolgt:

„Ew. Excellenz beehre ich mich in vorläufiger Erwiderung des gefälligen Schreibens vom 21. d. M. ganz ergebenst zu benachrichtigen, dass ich den königlichen Gesandten von Savigny in Carlsruhe mit der erforderlichen Anweisung versehen habe, um die Entbindung des Professor Dr. Helmholtz in Bonn von dem der Grossherzoglich Badischen Regierung wegen seiner Berufung an die Universität in Heidelberg gegebenen Versprechen zu vermitteln, und mir vorbehalte, Ew. Excellenz von dem Erfolge demnächst Mittheilung zu machen."

Die Badische Regierung sah sich jedoch damals nicht veranlasst, dem Wunsche Preussens zu willfahren und Helmholtz von dem der Regierung gegebenen Worte zu entbinden; sie wusste zu gut, welche gewaltige Geisteskraft sie für Heidelberg gewonnen und konnte sich auf das von Bunsen am 28. Mai 1857 an das Grossherzogliche Ministerium auf dessen Ansuchen gerichtete Schreiben berufen:

„. . . Die neuere Richtung der Physiologie ist weit entfernt, die speciellen Ansichten einer speciellen Schule zu vertreten, sie unterscheidet sich vielmehr von der älteren nur dadurch, dass sie nicht mehr die principiellen Grundlagen der Physiologie anderen Naturwissenschaften auf Treu und Glauben entlehnt, sondern sich dieselben auf dem kri-

tischeren Wege eigener experimenteller und mathematischer Forschungen selbst zu schaffen sucht.

Unter den jüngeren Persönlichkeiten, welche in dieser Richtung auf die Entwickelung der Physiologie den wesentlichsten Einfluss ausgeübt haben, weiss ich nur vier zu bezeichnen: 1. Helmholtz, 2. Brücke, 3. du Bois-Reymond, 4. Ludwig.

Von den Genannten muss Helmholtz unzweifelhaft als der genialste, begabteste und vielseitig gebildetste gelten, wie schon das beigelegte Verzeichniss seiner Schriften erkennen lässt. Unter denselben finden sich Arbeiten von klassischer Bedeutung, die sogar manchen maassgebenden Einfluss auf die neuere Richtung anderer exacter Naturwissenschaften ausgeübt haben. Seine Lehrthätigkeit ist eine ausgezeichnete, sein persönlicher Vortrag weniger glänzend als gründlich, geistreich und anziehend . . .“

Und nun war Helmholtz bereits zehn Jahre in Heidelberg thätig gewesen, hatte als grösster Naturforscher seiner Zeit mit Bunsen und Kirchhoff den Ruhm der Universität getragen, fühlte sich glücklich im Kreise seiner Familie an der Seite einer hochbedeutenden Frau, hatte grossen und anregenden Verkehr mit vielen ausgezeichneten Collegen, welche zu den bedeutendsten Forschern auf den verschiedenen Gebieten menschlichen Wissens gehörten — es musste ein schwer wiegender Umstand hinzukommen, wenn er den Gedanken erwägen sollte, Heidelberg zu verlassen.

Durch den Tod Plücker's in Bonn war die Professur der Physik und zugleich eine Professur der Mathematik erledigt, und es wandte sich am 28. Mai 1868 der Curator der Universität Beseler mit der Anfrage an Helmholtz, ob es möglich sein würde, ihn für die Professur der Physik zu gewinnen, „da mit seltener Einmüthigkeit in den hiesigen akademischen Kreisen, nicht bloss unter den Vertretern der mathematischen und der Naturwissenschaften, der lebhafte Wunsch zu Tage trete“, dass Helmholtz der Nachfolger

Plücker's werde. In der interessanten und charakteristischen Antwort sagt Helmholtz u. a.:

„Die Physik war eigentlich von jeher die Wissenschaft, der sich mein Interesse hauptsächlich zugewendet hatte; zur Medicin und durch sie zur Physiologie wurde ich wesentlich durch äussere zwingende Umstände geführt. Was ich in der Physiologie geleistet habe, basirt wesentlich auf physikalischem Boden. Die jungen Leute, deren praktische Arbeiten ich gegenwärtig zu leiten habe, sind überwiegend Mediciner, und meist nicht so vollständig in der Mathematik und Physik vorbereitet, um aufnehmen zu können, was ich unter den Dingen, die ich vielleicht lehren könnte, als das Beste betrachten würde. Andererseits sehe ich, dafs die wissenschaftliche und namentlich mathematische Physik in Deutschland in der jüngeren Generation nicht mehr recht vorwärts schreitet. Die wenigen grossen Namen dieses Faches, welches die eigentliche Basis aller rechten Naturwissenschaft ist, sind alt oder fangen an, in die ältere Generation einzurücken, ohne dass entsprechender Nachwuchs da ist, und ich muss mir deshalb sagen, dass, wenn ich in diesem Fache eine Einwirkung auf die Schüler gewinnen könnte, ich damit vielleicht Wichtigeres leisten würde als in der Physiologie, wo jetzt eine rüstig vorwärts arbeitende Schule ausgebildet ist. So wäre wohl ein Ziel da, welches es lohnte, noch einmal die neue Arbeit einer neuen Stellung auf mich zu nehmen, statt in dem bisher beschrittenen Wege gemächlich fortzuarbeiten. Ich würde zu dem Ende aber neben der Experimentalphysik, welche die populäre Vorlesung ist, jedenfalls den Unterricht in der mathematischen Physik und die Leitung praktischer Arbeiten mit übernehmen müssen. Vorlesungen über reine Mathematik würde ich nicht wohl übernehmen können; in denen über mathematische Physik würde ich das Mathematische nur als Mittel behandeln, nicht als Zweck. Wo möglich würde ich daneben auch noch Physiologie des Auges und Ohres vortragen, doch

möchte ich in dieser Beziehung keine Verpflichtung übernehmen."

Zugleich schreibt er am 10. Juni an Pflüger in Bonn: „Ich bin erst im Verlaufe der Verhandlungen darauf aufmerksam gemacht worden, dass Sie die Physiologie der Sinne als besonderes Colleg lesen. Ich hatte von Anfang her angenommen, dass Sie sie nur implicite in dem allgemeinen Colleg über Physiologie vortrügen, und dass es Ihnen keine wesentliche Störung sein würde, wenn ich über Auge und Ohr eine speciellere Vorlesung hielte, und in dieser Voraussetzung hatte ich mich gegen Beseler geäussert."

Pflüger bot sogleich in freundschaftlichster und entgegenkommendster Weise eine Helmholtz angenehme Regelung der Verhältnisse an, und dieser orientirte sich dann noch persönlich über die dortigen Verhältnisse, als er am 3. August zum Jubiläum der Universität nach Bonn ging.

Sehr warm tritt nun Beseler in einem Schreiben vom 4. August 1868 bei dem Minister von Mühler für die Berufung von Helmholtz ein:

„Die philosophische Facultät schlägt für den Lehrstuhl der Physik in erster Linie Helmholtz vor; die verschiedenen Voten unterscheiden sich in dieser Beziehung nur dadurch, dass sie in der Methode und in der Wärme seines Lobes variiren. Die medicinische Facultät hält sich verpflichtet, im Interesse ihrer Studirenden Ew. Excellenz auf das Angelegentlichste zu bitten, keine Opfer zu scheuen, um denselben für die physikalische Professur zu erwerben. . . . Dass sein Weltruhm seit Jahren begründet ist, dass bei seiner Erforschung der Natur und ihrer Kräfte die physikalische Seite in den Vordergrund tritt, dass seine Erwerbung für eine preussische Universität ein Ruhmestitel für die preussische Verwaltung, seine Uebersiedelung nach Bonn zur Uebernahme des vacanten Lehrstuhles für diese Universität ein hohes Glück nicht bloss für die Cultur der

Naturwissenschaften sein würde, steht fest. Von der ausserordentlichen Bedeutung des Mannes für die Wissenschaft im eminenten Sinne dürfte z. B. der Umstand bürgen, dass der Philosoph Trendelenburg sich in neuerer Zeit berufen hält, sich den mathematischen Studien wieder zuzuwenden, um Helmholtz in seinen Schriften folgen zu können."

Und das beigelegte Gutachten der medicinischen Facultät schliesst mit den schönen Worten:

„Es muss jeder zur Einsicht gelangen, dass er nur etwa mit Leibniz verglichen werden kann, der ebenso tief, ebenso umfassend und ebenso erhaben in seinen Speculationen war."

Nachdem sich die Verhandlungen längere Zeit hingezogen, weil der preussische Minister zunächst die definitive Feststellung des Staatshaushalts-Etats für 1869 abwarten wollte, und Helmholtz inzwischen am 16. September den Titel eines Grossherzoglich Badischen Geheimrathes II. Classe, zur selben Zeit das Commandeurkreuz des Zähringer Löwen erhalten hatte, fordert Beseler am 26. December 1868 Helmholtz zu einer mündlichen Verhandlung in Mainz auf und wendet sich zugleich nochmals an den Minister:

„. . . . Ich lege den allergrössten Werth darauf, dass ich zu einem solchen definitiven Abschluss in den Stand gesetzt werde; denn 1. ist Helmholtz ein sehr liebenswürdiger, aber auch im edlen Sinne ein stolzer Mann. Seit einem halben Jahr ist von seiner Berufung nach Bonn in den weitesten Kreisen die Rede; ich halte es für leicht möglich, dass es ihn verstimmen würde, wenn, nachdem eine officielle Verhandlung mit ihm eingeleitet worden, der Unterhändler nicht zum definitiven Abschluss ermächtigt wäre. 2. . . Ich kann nach den mir von den verschiedensten Seiten zugegangenen Nachrichten ohne Uebertreibung sagen, dass die Gelehrtenwelt mit Spannung darauf wartet, ob die Königl. Preussische Regierung den Mann für Bonn zu gewinnen gewusst hat. Es wäre die erste Berufung in dem zweiten

Säculum der Universität und eine so glänzende, wie sie jemals an eine preussische Universität vorgekommen."

Die Unterredung mit Beseler führte nicht zu dem gewünschten Resultate, da die preussische Regierung nicht gleichen Schritt zu halten wusste mit dem liberalen Entgegenkommen des badischen Ministers. Am 2. Januar 1869 richtet Jolly ein sehr verbindliches Schreiben an Helmholtz:

„.... Ich hoffe jetzt mit Sicherheit, es wird gelingen, Sie in dem schönen Heidelberg festzuhalten. So gern wir uns sonst der preussischen Führung fügen, so ist es doch in dem vorliegenden Falle für uns eine angenehme Pflicht, dem Berliner Cabinet den Sieg auf's Aeusserste streitig zu machen, und ich darf hinzufügen, dass es mir, dessen geistiges Leben in der Universität Heidelberg wurzelt, persönlich wahrhaft schmerzlich gewesen wäre, während ich die Geschäfte zu leiten habe, sie ihrer ersten Zierde beraubt zu sehen."

Die Erfüllung aller, freilich sehr bescheidenen Wünsche von Seiten der badischen Regierung, sowie die Wünsche und Neigungen seiner Familie, bestimmten Helmholtz, in Heidelberg zu bleiben. Du Bois hingegen drängte ihn, den Ruf als Physiker nach Bonn anzunehmen:

„Weil, wenn Du in Bonn Physiker wärest, bei der binnen wenigen Jahren hier unfehlbaren Vacanz in diesem Fache, Du ebenso unfehlbar hierher gerufen werden würdest, und ich dies für das Gemeinwesen wie für mich für ein sehr grosses Glück halten würde."

Darauf konnte er am 14. Januar nur antworten:

„Hier ist alles officiell fertig gemacht, ein Fackelzug gehalten u. s. w., und Olshausen unterhandelt schon mit Clausius, was mich freut."

Am 27. Januar schreibt Helmholtz an Ludwig:

„Die Entscheidung über meine Bonner Berufung hat sich drei Vierteljahre hinausgesponnen, endlich habe ich abgelehnt. Ich ging anfangs gern auf den Plan ein, künftig

Physik zu lesen, weil ich voraussetzte, dass ich die Physik in allen Theilen mit vollständig selbständigem Urtheil hätte vortragen können, während unsere Physiologie in den Handgriffen und Methoden so aus einander zu gehen anfängt, dass niemand mehr in allen Einzelheiten sattelfest sein kann. Freilich habe ich mir oft auch dagegen sagen müssen, dass eben deshalb die Physiologie das ruhmwürdigere Feld sei, und dass es der Menschheit vielleicht nützlicher, wenn auch für uns weniger bequem ist, wenn wir unsere Kräfte in dieser Beziehung verwenden. . . . . In den letzten Tagen des December verlangte der Curator von Bonn, mit mir mündlich zu verhandeln, um mir Mindergebote zu thun, und erst, nachdem ich erklärt hatte, mich nun überhaupt auf nichts mehr einlassen zu wollen, kam heraus, dass er ermächtigt war, mir meine frühere Forderung zu bewilligen. . . . . Schliesslich siegte, wenn ich so sagen darf, das Heimweh für Heidelberg, d. h. für seine moralische Atmosphäre und das Bedenken, aus dem Ministerium Jolly unter das Ministerium Mühler zu treten. . . . . Aber am Ende, wenn die ernstesten Verhältnisse des Lebens in's Spiel kommen, haben auch die Verpflichtungen gegen die Freunde ihre Grenzen. Die Badische Regierung, die ich eigentlich in der Führung der Verhandlungen benachtheiligt hatte der Preussischen gegenüber, war in ihrer Bereitwilligkeit, für mich fast unverhältnissmässige Opfer zu bringen, das gerade Gegentheil der Preussischen."

Freilich sollte schon wenige Jahre später Preussen dennoch obsiegen.

Mitten in die Verhandlungen hinein fällt die Geburt seines Sohnes Friedrich Julius am 15. October 1868:

„Von Geburt an", schreibt Frau v. Schmidt-Zabiérow, „war auch er ein schwächliches Kind, das nur durch unablässigste Sorgfalt und Pflege am Leben erhalten werden konnte, und dessen geistige wie körperliche Entwickelung die Quelle ununterbrochener Sorge für die Eltern war und

blieb. Es bedurfte der beispiellosen Widerstandsfähigkeit meiner Schwester, um dem doppelten Kummer der Krankheit ihrer beiden Söhne nicht zu erliegen, die Verdüsterung des Lebens ihres Mannes hintanzuhalten. Persönliches Leid sollte seine Arbeitskraft nicht beeinträchtigen, alltägliche Dinge sollten ihm ferngehalten werden. Dieses Bestreben lag dem Thun und Lassen meiner Schwester zu Grunde. Während sie sich in schwierigen Fällen seinen Rath erbat und sich seinem Urtheil unterwarf — „mir steigen überall Bedenken auf, wo ich Dich nicht habe, um meinen Ideen das Fundament zu geben“ — so verschonte sie ihn doch mit Klagen über Unabänderliches. Ihr fröhliches, warmes Temperament blieb nicht ohne Rückwirkung auf seine oftmals allem Irdischen entrückte Denkerseele.“

Um diese Zeit tritt in der Bethätigung der enormen Schaffenskraft von Helmholtz eine entschiedene Wendung zu physikalischen, mathematischen und philosophischen Problemen der schwierigsten Art ein.

Seine akustischen Forschungen hatten ihm eine unmittelbare Veranlassung gegeben, zu seinen früheren hydrodynamischen Untersuchungen zurückzukehren; die neu erhaltenen Resultate legte er am 23. April 1868 der Berliner Akademie in der Arbeit „Ueber discontinuirliche Flüssigkeitsbewegungen“ vor. Die hydrodynamischen Gleichungen für das Innere einer nicht der Reibung unterworfenen Flüssigkeit, deren Theile keine Rotationsbewegung besitzen, liefern dieselbe partielle Differentialgleichung, welche für stationäre elektrische Ströme in Leitern von gleichmässigem Leitungsvermögen besteht. In Wirklichkeit existiren jedoch wesentliche Unterschiede zwischen der Stromvertheilung einer tropfbaren Flüssigkeit und der Elektricität, welche besonders auffallend sind, wenn die Strömung durch eine Oeffnung mit scharfen Rändern in einen weiteren Raum eintritt. Während die Stromlinien der Elektricität von der Oeffnung aus sogleich nach allen Richtungen aus

einander gehen, bewegt sich Wasser wie Luft von der Oeffnung aus anfänglich in einem compacten Strahle vorwärts, der sich dann in geringerer oder grösserer Entfernung in Wirbel aufzulösen pflegt. Die Untersuchung der bei den Orgelpfeifen durch einen continuirlichen Luftstrom erregten periodischen Bewegung hatte Helmholtz gelehrt, dass eine solche Wirkung nur durch eine discontinuirliche Art der Luftbewegung hervorgebracht werden könne.

Während nun für die hydrodynamischen Gleichungen bisher stets Geschwindigkeiten und Druck der strömenden Theilchen als continuirliche Functionen der Coordinaten behandelt wurden, erkannte Helmholtz, dass bei einer der Reibung nicht unterworfenen tropfbaren Flüssigkeit auf beiden Seiten einer durch das Innere derselben gelegten Fläche auch tangentielle Geschwindigkeiten von endlichem Grössenunterschiede stattfinden können, wenn nur die senkrecht zur Fläche gerichteten Componenten der Geschwindigkeit und der Druck an beiden Seiten derselben gleich sind. Nun ist aber im Innern einer Flüssigkeit eine Ursache vorhanden, welche Discontinuität der Bewegung erzeugen kann, indem für jeden beliebigen positiven Werth des Druckes die Dichtigkeit der Flüssigkeit sich continuirlich mit ihm ändert, sowie der Druck aber negativ wird, eine discontinuirliche Veränderung der Dichtigkeit eintritt und die Flüssigkeit aus einander reisst.

Da nun in einer bewegten incompressibelen Flüssigkeit die Verminderung des Druckes der lebendigen Kraft der bewegten Wassertheilchen direct proportional ist, so wird, wenn diese eine bestimmte Grösse überschreitet, der Druck negativ werden, und die Flüssigkeit zerreissen. Die dem Differentialquotienten des Druckes proportionale beschleunigende Kraft wird an dieser Stelle discontinuirlich, und es wird sich bei der Bewegung der Flüssigkeit an einer solchen Stelle vorüber eine Trennungsfläche bilden. Eine einfache Ueberlegung zeigt, dass jede geometrisch vollkommen scharf gebildete Kante, an

welcher Flüssigkeit vorbeifliesst, selbst bei der mässigsten Geschwindigkeit der übrigen Flüssigkeit, dieselbe zerreissen und eine Trennungsfläche herstellen muss. Nun ist aber die Bewegung im ganzen Inneren einer incompressibelen Flüssigkeit, deren Theilchen keine Rotationsbewegung haben, vollständig bestimmt, wenn die Bewegung ihrer ganzen Oberfläche und ihre inneren Discontinuitäten gegeben sind. Es handelt sich daher bei äusserer fester Begrenzung der Flüssigkeit nur darum, die Bewegung der Trennungsfläche und die Veränderungen der Discontinuität an derselben kennen zu lernen; als Grenzbedingungen für eine innere Trennungsfläche der Flüssigkeit sind zu betrachten, dass der Druck auf beiden Seiten der Fläche gleich sein muss, und ebenso die normal gegen die Trennungsfläche gerichtete Componente der Geschwindigkeit. Die Bewegung der Trennungsfläche wird nun nach den früher für die Bewegung der Wirbelflächen festgestellten Regeln bestimmt.

Es ergiebt sich, dass eine solche Trennungsfläche nicht entstehen und nicht verschwinden kann, und dass die auf der Trennungsfläche liegenden Trennungsfäden längs der Trennungsfläche mit einer Geschwindigkeit fortschwimmen, welche das Mittel aus den an beiden Seiten der Fläche bestehenden Geschwindigkeiten ist. Es kann sich somit eine Trennungsfläche immer nur nach der Richtung hin verlängern, nach welcher der stärkere von den beiden in ihr sich berührenden Strömen gerichtet ist. Versuche und Theorie geben übereinstimmende Resultate für unverändert bestehende Trennungsflächen in stationären Strömungen, d. h. für den Fall, dass längs der Trennungsfläche von ruhendem und bewegtem Wasser der Druck in der bewegten Schicht derselbe ist wie in der ruhenden, somit die tangentielle Geschwindigkeit der Wassertheilchen in der ganzen Ausdehnung der Fläche constant ist. Es gelingt Helmholtz auf diesem Wege mit Hülfe functionentheoretischer Principien zum ersten Male die Gestalt eines freien Flüssigkeitsstrahles für den spe-

ciellen Fall zu bestimmen, dass der Strom aus einem weiten Raum in einen engen Canal übergeht, und unter der Voraussetzung, dass keine äusseren Kräfte auf die incompressible Flüssigkeit wirken, dass ferner ein Geschwindigkeitspotential existirt, die Strömungen stationäre sind und die Bewegung einer festen Ebene parallel ist. Die Resultate geben ihm zu weiteren wichtigen Bemerkungen über elektrische Vertheilungsaufgaben und die Aufsuchung bestimmter Potentialfunctionen Anlass.

Wenn er bei Uebersendung seiner Abhandlung über eine Klasse hydrodynamischer Gleichungen am 8. Januar 1858 an Borchardt geschrieben:

> „... Sie ist mehr für mathematische als physikalische Leser eingerichtet, und ihr Nutzen besteht mehr darin, dass man eine Uebersicht der den hydrodynamischen Gleichungen entsprechenden Bewegungen erhält, welche man anwenden kann, um bei Bewegungen wirklichen Wassers zu erkennen, welche Eigenthümlichkeiten seiner Bewegung von anderen Umständen influirt werden, die in den hydrodynamischen Gleichungen nicht berücksichtigt sind, als dass man viele directe Anwendungen der neuen Integralformen auf wirkliche Vorgänge machen könnte“,

so bieten die Resultate der eben erwähnten Arbeit Gelegenheit zur Anwendung auf viel besprochene Erscheinungen von besonderem Interesse, und er ergänzt in der That seine hydrodynamischen Untersuchungen durch eine am 5. März 1869 dem naturhistorisch-medicinischen Verein in Heidelberg vorgelegte Arbeit „Zur Theorie der stationären Ströme in reibenden Flüssigkeiten“.

Es war von W. Thomson behauptet worden, dass ein Körper, welcher in einer nicht reibenden Flüssigkeit nahe einer senkrechten Wand fällt, von dieser angezogen wird und zu ihr hineilt. Im Gegensatz hierzu zeigten die in dem Laboratorium von Helmholtz angestellten Versuche über die Bewegungen und die Vertheilung feiner suspendirter

fester Körperchen, dass nicht nur in Capillarröhren, sondern auch in viel weiteren Röhren von 1 bis 5 cm Durchmesser mikroskopisch kleine Körperchen immer gegen die Mitte des Stromes hinstreben. Da aber schwerere Körper schneller in der Flüssigkeit fallen als leichtere, so erhalten bei ersteren diejenigen Druckunterschiede, welche vom Quadrat der Geschwindigkeit abhängen, einen grösseren Einfluss, und man hört in der That eine Bleikugel mehrmals an die Wand anschlagen, bevor sie den Boden erreicht. Die Abweichungen davon bei geringeren Geschwindigkeiten schienen vom Einfluss der Reibung herzurühren, und es hatte den Anschein, dass, wenn man nur so kleine Geschwindigkeiten in Betracht zog, dass nur die Glieder erster Dimension zu berücksichtigen waren, die schwimmenden Körper sich nur an solchen Orten der Flüssigkeit hielten, wo ihre Anwesenheit die geringste Vermehrung der Reibung der Flüssigkeit hervorbrachte.

Helmholtz untersucht nun zur genaueren Feststellung dieser Thatsachen die schon früher behandelten hydrodynamischen Gleichungen mit Berücksichtigung der Reibung, und entwickelt zunächst durch Integration einer aus denselben unmittelbar ersichtlichen Beziehung die Zunahme der lebendigen Kraft in der einen bestimmten Raum füllenden Flüssigkeitsmasse. Er findet durch Deutung des analytischen Ausdruckes, dass diese gleich ist der während eines unendlich kleinen Zeittheilchens von denjenigen äusseren Kräften geleisteten Arbeit, welche auf das Innere der Wassermasse wirken und welche die festen Körper zu bewegen streben, weniger derjenigen Menge lebendiger Kraft, welche während dieses kleinen Zeittheilchens durch die Reibung im Innern der Flüssigkeit vernichtet, also in Wärme verwandelt worden ist.

Unter der Voraussetzung eines stationären Stromes und unter der Annahme, dass, wo die Flüssigkeit eine feste Wand berührt, ihre oberflächlichen Theile fest an dieser

haften, dass dagegen an der Oberfläche beweglicher schwimmender Körper Veränderungen der Geschwindigkeit der Flüssigkeitstheilchen stattfinden, welche den Bewegungsbedingungen der berührenden festen Körper entsprechen, folgert er aus den früher gewonnenen Resultaten die Natur der in Frage kommenden Bewegung. Er findet mit Hülfe bekannter Principien für die Variation von Integralen mit einer gegebenen Beschränkung — welche hier der analytische Ausdruck für die Incompressibilität der Flüssigkeit bildet —, dass bei verschwindend kleinen Geschwindigkeiten und stationärem Strome die Strömungen in einer reibenden Flüssigkeit sich so vertheilen, dass der Verlust an lebendiger Kraft durch die Reibung ein Minimum wird, vorausgesetzt, dass die Geschwindigkeiten längs der Grenzen der Flüssigkeiten als fest gegeben betrachtet werden. Daraus konnte er folgern, dass ein Körper, der in einer reibenden, in langsamem stationärem Strome fliessenden Flüssigkeit schwimmt, im Gleichgewicht ist, wenn die Reibung im stationären Strome ein Minimum ist. Dasselbe findet auch statt, wenn man längs der Oberfläche des schwimmenden Körpers die Werthe der Geschwindigkeiten der Wassertheilchen so variirt, wie sie verändert werden würden, wenn eine der verschiedenen möglichen Bewegungen des Körpers factisch einträte.

Helmholtz hatte gehofft, mit Hülfe dieser Sätze die Abweichungen vom Thomson'schen Gesetze unter der Annahme kleiner Geschwindigkeiten erklären zu können, musste sich aber davon überzeugen, dass zunächst erst noch ähnliche Sätze aufgestellt werden müssen, für welche die quadratischen Glieder der Geschwindigkeiten nicht vernachlässigt werden.

Noch in demselben Jahre 1868 setzte er aber die naturwissenschaftliche und mathematische Welt durch viel weitergreifende und ganz fundamentale Untersuchungen in Staunen, welche er zunächst in einem Abriss dem naturwissenschaftlich-medicinischen Verein am 22. Mai unter dem Titel „Ueber die thatsächlichen Grundlagen der Geometrie“ vorlegte,

und deren Ausführung in der der Göttinger Gesellschaft der Wissenschaften überreichten Abhandlung „Ueber die Thatsachen, die der Geometrie zu Grunde liegen“, erschien. Die wichtigsten Resultate derselben suchte Helmholtz später in einem im Docentenverein in Heidelberg im Jahre 1870 gehaltenen Vortrage „Ueber den Ursprung und die Bedeutung der geometrischen Axiome“ in einer auch den Nicht-Mathematikern verständlichen Form darzulegen; der in the Academy ebenfalls im Jahre 1870 erschienene Aufsatz „the axioms of geometry“ giebt nur die Uebersetzung einiger Abschnitte des letzterwähnten Vortrages. Diese Untersuchungen, in Verbindung mit der berühmten Arbeit von Riemann „Ueber die Hypothesen, welche der Geometrie zu Grunde liegen“, welche als Habilitationsschrift am 10. Juni 1854 erschien, waren bahnbrechend für die Entwickelung der mathematisch-philosophischen Anschauungen der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts.

Schon in sehr früher Zeit hatte Helmholtz angefangen, sich mit der philosophischen Analyse der mathematischen und physikalischen Grundbegriffe zu beschäftigen, und es mag als Einleitung zu der Besprechung seiner Arbeiten über die Axiome der Geometrie, Arithmetik und Mechanik hier eine in hohem Grade interessante Aufzeichnung eine Stelle finden, welche noch einige Jahre vor der Veröffentlichung seiner Schrift über die Erhaltung der Kraft erfolgte und nicht nur Zeugniss ablegt von dem jugendlichen Ringen nach Klarheit der Grundbegriffe, sondern uns auch schon die Wege andeutet, welche Helmholtz dreissig Jahre später mit so bahnbrechendem Erfolge eingeschlagen.

„Naturwissenschaft hat zum Objecte denjenigen Inhalt unserer Vorstellungen, welcher von uns als nicht durch die Selbstthätigkeit unseres Vorstellungsvermögens erzeugt angeschaut wird, d. h. also das als wirklich wahrgenommene. Entweder giebt sie nur eine geordnete Uebersicht alles Empirischen (Naturbeschreibung und Experimentalphysik),

wo dann nur die Ordnung aus einem Zweck construirt, d. h. wissenschaftlich ist, oder sie sucht die Gründe der Facta zu erschliessen, d. h. sie sucht die Begriffe, aus welchen sich die einzelnen bestimmten empirischen Wahrnehmungen ableiten lassen; sie sucht also das Wirkliche zu verstehen (wissenschaftliche Physik).

Diese Naturbegriffe werden erschlossen, theils aus dem Factum allein, dass es überhaupt bestimmte Wahrnehmungen gebe, die nicht durch unsere Selbstthätigkeit hervorgebracht sind, theils aus einzelnen bestimmten empirischen Wahrnehmungen selbst. Das System der ersteren giebt die allgemeinen oder reinen Naturwissenschaften (Zeitlehre, Geometrie, reine Mechanik), das der letzteren die theoretische Physik. Das Gemeinsame der allgemeinen Naturbegriffe wird sein: dass sie und ihre Folgerungen aller Naturanschauung zum Grunde liegen, und ohne sie keine gedacht werden kann, dass sie also in dieser Hinsicht die allgemeine und nothwendige Form der Naturanschauung sind, daher auch die Gewissheit ihrer Sätze eine absolute ist, während sich die der besonderen Naturbegriffe immer nur so weit erstreckt, um auszusagen, dass alle bis jetzt bekannten Facta ihnen entsprechen. Die allgemeinen Begriffe, nur hergeleitet aus der Möglichkeit irgend einer Naturanschauung, dürfen ferner nicht die Möglichkeit irgend einer empirischen Combination von Wahrnehmungen beschränken, d. h. es darf aus ihnen durchaus kein empirisches Factum oder Gesetz ableitbar sein, sondern sie können uns nur eine Norm für unsere Erklärungen geben.

Hülfssätze. Die möglich denkbaren Verbindungen der hier betrachteten Vorstellungsobjecte fallen unter die allgemeinen Kategorien möglicher Denkverbindungen überhaupt. Sie sind folgende:

I. Beziehung eines Vorstellungsobjectes auf das Vorstellungsvermögen. (Modalität; Objecte wahrgenommen oder vorgestellt.)

II. Beziehung eines Objectes auf ein anderes. Diese Beziehung wird gesetzt

1. als eine von unserem Vorstellen unabhängige, äusserlich wirkliche (Causalität).
2. als eine nur vorgestellte (Vergleichung)
    a) von gleichartigen Objecten (Quantität),
    b) von ungleichartigen (Qualität).

Gleich in einer Beziehung ist nämlich ein Object einem anderen, wenn es überall, wo das Resultat einer Combination nur in dieser Beziehung betrachtet wird, für das andere gesetzt werden kann.

Gleichartig in einer Beziehung, wenn beide in lauter, unter sich in dieser Beziehung gleiche Theile zerlegt werden können.

Ein Object, der Quantität nach betrachtet, heisst Grösse; als Grösse kann demnach jedes Object betrachtet werden, welches in gleiche oder gleichartige Theile zerlegt gedacht werden kann. Messen heisst, die Menge solcher Theile bestimmen; eine bestimmte Menge heisst Zahl, ein einzelner Theil die Maasseinheit.

Die Grössen sind denkbar entweder von der Art, dass fortgesetzte Theilung auf Theile führt, die nicht weiter in gleichartige zertheilt werden können (aggregirte Grössen), oder dass keine Grenze der Theilung existire (stetige Grössen). Ein logischer Widerspruch liegt in der unendlichen Theilbarkeit nicht, denn diese soll nur als möglich gedacht, nicht wirklich ausgeführt werden, wozu allerdings eine unendlich lange Zeit nöthig sein würde; ebenso wenig in dem Gedanken eines stetigen Wachsens durch unendlich viele unendlich nahe Stufen.

Die Wissenschaft von der Verbindung der Grössen der Quantität nach ist die Arithmetik; sie wird rein nach den Gesetzen der gemeinen Logik aus den hier aufgestellten Begriffen entwickelt. Sie führt auf die bekannten Zahlformen der positiven und negativen, ganzen und gebrochenen

(mit Einschluss der irrationalen, d. h. gebrochenen mit ∞ grossem Nenner), reellen und imaginären Zahlen, von denen nur die letzteren nicht auf bestimmte Zahlwerthe zurückzuführen sind.

Die allgemeinen Naturbegriffe.

Wahrnehmung ist Bewusstwerden einer bestimmten Empfindung, d. h. eines bestimmten Zustandes unserer Organe. Bestimmt kann eine Empfindung nur sein im Gegensatz gegen andere; es müssen also Vorstellungen von anderen entgegengesetzten Empfindungen vorhanden sein; und da es nicht denkbar ist, dass ein einziges und untheilbares Wahrnehmen entgegengesetzte Qualitäten in sich vereinige, so muss es verschiedene Theile (Acte) des Wahrnehmens geben, welche, abgesehen von dem qualitativ bestimmten Inhalt, wie nach einem Verhältniss der Verschiedenheit in der Art des Wahrnehmens selbst verschieden sind. Dieses Verhältniss nennen wir Zeit. Von diesen verschiedenen Acten der Wahrnehmung nennen wir den von der Empfindung begleiteten, welchem wir die anderen entgegensetzen, die gegenwärtige Wahrnehmung, und die anderen die vergangenen. Werden sie nun alle in eine Reihe so geordnet, dass einer jeden alle vor ihr vergangenen vorausgehen, so erhalten wir eine ganz bestimmte Reihe mit bestimmter Richtung des Fortschreitens, deren Glieder alle, abgesehen von ihren qualitativen Unterschieden, verschieden sind nach jenem nothwendigen Verhältniss der Verschiedenheit im Wahrnehmen der Zeit.

Da dieses Verhältniss umfassen soll alle möglicherweise dagewesenen und kommen könnenden Fälle von Wahrnehmungen und ihren Uebergängen, so muss sein Begriff so bestimmt werden, dass es passe auf alle denkbaren Fälle.

Die Zeit ist:

1. ausgedehnt und theilbar in gleichartige Theile; ersteres insofern sie die ganze Reihe der Wahrnehmungen um-

fassen soll; jede einzelne ist in einem Theil der Zeit enthalten, und da hier an diesen Theilen überhaupt nur das Umfassen einer Wahrnehmung in Betracht kommt, nicht der qualitative Unterschied der letzteren, so sind sie als gleichartig zu setzen;

2. unbegrenzt ausgedehnt, weil die Zahl der zu umfassenden Wahrnehmungen keine nothwendige Grenze hat;
3. unbegrenzt theilbar, weil stetige Aenderungen der Wahrnehmungen denkbar sind, und jede der unendlich vielen Stufen der Aenderung in der Zeit enthalten sein musste. Jeder Zeittheil enthält daher noch differente kleinere Theile in sich; soll eine Zeitbestimmung in sich nicht mehr different, also ganz bestimmt sein (Zeitpunkt), so muss sie als nicht ausgedehnt gedacht werden; eine solche ist die Grenze zwischen den einzelnen Zeittheilen.
4. Die Richtung des Fortschreitens in der Zeit ist eine bestimmte und nur eine, daher auch durch die eine Bestimmung, um wie viel Zeit etwas früher oder später sei als ein anderes bekanntes, der Zeitpunkt vollständig bestimmt ist.

Wird die Zeit als Grösse betrachtet, so ist sie zu denken als wachsend von 0 bis $+\infty$ durch alle positiven ganzen und gebrochenen Zahlen; da aber jeder Zeitpunkt vom Anfangspunkte der Zeit als unendlich entfernt gedacht werden muss, so sind Zeitbestimmungen in bestimmten Zahlen nur möglich durch Angabe der positiven oder negativen Differenz der zu suchenden Zeit von einer als bekannt vorausgesetzten, dann ist die Zeit als wachsend zu denken stetig von $-\infty$ bis $+\infty$. Der Grösse nach gegeben durch eine Bestimmungsgleichung, d. h. abhängig von einer Variablen, oder von der ersten Dimension, wenn wir eine durch n Bestimmungen zu gebende Ausdehnungsgrösse als eine der $n$ten Dimension bezeichnen.

Als gleich werden Zeittheile zu setzen sein, in welchen dieselben Aenderungen unter gleichen Umständen vor sich gehen.

Die Wahrnehmungen sind ferner gesetzt als unabhängig von unserer Selbstthätigkeit entstanden, müssen also gesetzt werden als verursacht durch ein Anderes, uns Aeusseres, welches wir, insofern es bloss da ist, Materie nennen, insofern es auf uns wirkt, d. h. Grund von Veränderungen ist, Kraft.

Das Aeussere, insofern es bloss Materie ist, ist daher ohne qualitativen Unterschied, also auch ohne qualitative Aenderung, ewig dasselbe; der Quantität nach betrachtet, Masse. Da es aber doch verschieden auf uns wirken soll, müssen verschiedene Theile der Materie verschiedene Kräfte haben. Die Kräfte an sich können, da sie qualitative Unterschiede haben, der Zeit nach veränderlich gedacht werden, als Grund ihrer Veränderung muss wieder eine andere Kraft gedacht werden, und so muss immer weiter zurückgegangen werden, bis man auf der Zeit nach constante Kräfte bestimmter Theile der Materie kommt (chemische Elemente).

Das Aeussere, der Grund unserer Empfindungen, ist also zu setzen als zusammengesetzt aus Materien mit verschiedenen Kräften, es kann also nicht als ein eines und untheilbares Sein gesetzt werden. Es soll also Verschiedenes gleichzeitig sein; deshalb muss im Gleichzeitigsein noch ein Verhältniss vorkommen, nach welchem Objecte, abgesehen von ihrer qualitativen Verschiedenheit, verschieden sein können, weil ein einziges untheilbares Sein nicht mit verschiedenen Qualitäten begabt sein kann; dieses Verhältniss ist der Raum, in welchem die verschiedenen Objecte geordnet zu denken sind. Die Glieder dieser Ordnung sind, da ihr wesentliches Merkmal die Gleichzeitigkeit ist, nicht in bestimmter Richtung fortschreitend, daher braucht die Fortschreitung nicht wie bei der Zeit eine einfache zu sein, sondern ist möglicherweise mehrfach.

Der Raum ist wie die Zeit zu setzen als ausgedehnt und theilbar in gleichartige Theile, und zwar als ∞ ausgedehnt und ∞ theilbar, weil weder die Zahl noch die Theilbarkeit der möglicherweise in ihm enthaltenen Gegenstände a priori begrenzt ist. Jeder noch ausgedehnte Raumtheil enthält daher noch andere differente in sich, eine Raumbestimmung ohne Ausdehnung heisst Punkt. Weil der Punkt keinen reellen Gegenstand enthalten kann, daher auch nicht aus Materie darstellbar ist, hat man ihn für eine nicht reelle Grösse erklären wollen, er ist aber nicht weniger reell als der Raum überhaupt, der auch kein wirkliches Ding ist.

Da die Richtung des Fortschreitens im Raum keine bestimmte ist, so ist ein Punkt durch die Angabe, wie viel Raum zwischen ihm und einem anderen sei, noch nicht gegeben, sondern es sind mehr Bestimmungen nöthig, d. h. nach obiger Erklärung des Begriffs Dimension: der Raum ist eine stetig bis ∞ wachsende Grösse von mehreren Dimensionen, wir wollen annehmen von n, d. h. jeder Punkt sei durch n Bestimmungsstücke zu geben. Existiren wieder Bedingungen zwischen diesen Bestimmungsstücken, so dass für gewisse Werthe mehrerer von ihnen nur gewisse der anderen möglich sind, so können einzelne Punkte auch durch weniger Bestimmungen gegeben sein, und umgekehrt könnten aus mehreren Bestimmungen identisch die anderen folgen, so dass der Punkt nur scheinbar durch n Bestimmungen gegeben wäre. Wird daher allgemein gesagt: ein Punkt ist durch n Bestimmungsgleichungen gegeben, so sind die etwaigen Gleichungen zwischen bestimmten Werthen der Variablen selbst mitzurechnen, und die Gleichungen fortzulassen, welche identisch aus den anderen herfliessen. Wie bei der Zeit kann die Messung des Raumes nicht angefangen werden von einem Anfangspunkte desselben, weil es einen solchen nicht giebt, sondern muss von bestimmten, als bekannt vorausgesetzten Punkten ausgehen.

Theile des Raumes, welche Raumgrössen genannt werden mögen, sofern sie noch wieder theilbar, d. h. keine Punkte sind, haben entweder ebenso viel Dimensionen oder weniger. Ein in einer Raumgrösse $a$ter Dimension liegender Punkt soll durch a Bestimmungen gegeben sein, im Raume ist er es erst durch n, also müssen aus den Eigenschaften der gegebenen Raumgrösse noch $n - a$ Bestimmungen herfliessen, d. h. eine Raumgrösse $a$ter Dimension ist durch $n - a$ Bestimmungsgleichungen gegeben. Die erster Dimension heisse Linie, die zweiter Fläche.

Soll eine Raumgrösse $a$ter Dimension nicht in der ganzen Ausdehnung genommen werden, wie sie durch ihre $n - a$ Bestimmungsgleichungen gegeben ist, sondern nur bis zu gewissen Punkten, soll also für jeden Werth von $n - 1$ Coordinaten die $n$te nicht über oder unter einen gewissen Werth gehen, was durch eine Gleichung gegeben ist, so werden jene Punkte, deren Inbegriff die Grenze genannt wird, bestimmt durch $n - a + 1$ Gleichungen, bilden also eine Raumgrösse von $a - 1$ Dimensionen.

Wir haben nun zunächst zu fragen, wie es möglich ist, einen Punkt gegen einen anderen zu bestimmen; die einzige durch zwei Punkte zu begrenzende Raumgrösse ist aber die Linie; es müsste also die Länge einer bestimmten Art von Linie angegeben werden. Die Länge der möglich ziehbaren Linien hat kein Maximum, denn sie können durch ∞ weit entfernte Punkte hindurchgehen, und kann nicht 0 werden, muss folglich ein positives Minimum haben. Die Länge der einen oder mehreren kürzesten Linien zwischen zwei Punkten oder Raumgrössen nennen wir Entfernung.

Ist der Punkt p_1 von p_n um a, von p_m um b entfernt, so kann p_n von p_m nie weniger als $a - b$, nie mehr als $a + b$ entfernt sein (weil es sonst einen kürzeren Weg von p_1 nach p_m oder von p_n nach p_m gäbe, als ihre Entfernung).

So weit reichen die Bestimmungen des Raumes, insofern

er alle möglicherweise vorhandenen materiellen Objecte umfassen soll, und zwar da ein endlich begrenzter Raum (eine endliche Raumgrösse $n$ter Dimension) als ein solcher zu setzen ist, der eine endliche Zahl endlicher Massen enthält, so können endliche Massen nur in Raumgrössen höchster Dimension enthalten sein, und heissen als solche materielle Körper; die sie enthaltenden Raumgrössen aber mathematische Körper. In materiellen Körpern können wieder Punkte, Linien etc. unterschieden werden, die dann materielle Punkte etc. genannt werden können.

Ferner muss der Begriff des Raumes auch noch so bestimmt werden, dass er alle möglichen Aenderungen der Materie umfassen könne, die hier offenbar nur so weit in Betracht kommen, als sie Aenderungen der Raumverhältnisse, d. i. Bewegungen sind.

1. Wird ein materieller Körper bewegt, so ist er fortdauernd in einem Theil des Raumes vorhanden; dabei ist es denkbar, dass alle einzelnen Theile des Körpers ihre Lage zu einander unverändert beibehalten (fester Körper); dann werden auch die einzelnen Punkte, Linien etc. jedes neuen ihn enthaltenden mathematischen Körpers sich zu einander ganz so verhalten wie die des ersten, und insofern kann gesagt werden, der mathematische Körper selbst, seine Punkte, Linien etc. bewegen sich mit der Materie. In diesem Sinne sind unter einem festen System von Punkten solche bewegliche Punkte zu verstehen, die bei ihrer Bewegung stets ihre gegenseitigen Bestimmungen unverändert erhalten; Raumgrössen wären demnach als stetige feste Systeme zu betrachten.

Congruent sind feste Systeme, wenn das eine so in das andere bewegt werden kann, dass jeder Punkt des einen mit einem des anderen zusammenfällt. Paare von gleich entfernten Punkten sind congruent.

2. Bewegung soll der Materie zukommen, abgesehen von all ihren besonderen Kräften; dann ist aber das einzige übrig-

bleibende Merkmal eines bestimmten Theils der Materie der besondere Raum, in dem sie enthalten ist; da ihr in der Bewegung aber auch dies Kennzeichen genommen wird, so kann ihre Identität nur dann noch ausgesagt werden, wenn wir den Uebergang aus dem einen Raume in den anderen anschauen, d. h. Bewegung muss stetig sein dem Raume nach.

Wird daher eine Raumgrösse $a$ter Dimension bewegt gedacht, so erhalte ich für jede der stetig in einander übergehenden Lagen $n - a$ Gleichungen mit stetig in einander übergehenden Werthen der $n - a$ zu suchenden Coordinaten für gleiche Werthe der a anzunehmenden; von jenen stetig sich ändernden könnte ich noch für die eine einen beliebigen Werth wählen, und erhielte dann unmittelbar die zugehörigen Werthe der anderen; der Weg einer Raumgrösse $a$ter Dimension ist daher im Allgemeinen eine Raumgrösse $(a + 1)$ter.

Die Werthe der zu suchenden Unbekannten brauchten sich nicht nothwendig zu ändern, wenn nämlich jeder Punkt der bewegten Grösse nur immer wieder in Punkte übergeht, die schon vorher darin lagen; solche Bewegung nennen wir Verschiebung; jene erste aber Seitenbewegung.

Linie also = Weg des Punktes,
Fläche = Weg der Linie.

3. Da Raumbestimmung überhaupt nicht in Beziehung auf den absoluten Raum möglich ist, so kann auch Aenderung derselben, d. h. Bewegung, nur in Bezug auf bestimmte Punkte oder Systeme stattfinden, und es kann ein Punkt in Bezug auf verschiedene solche zugleich in Ruhe und in Bewegung sein. Ruhe und Bewegung sind also nicht an sich verschiedene Zustände der Materie, sondern nur relativ.

Da nun die Materie gesetzt wurde als verharrend in ihrem Zustande, so lange keine Kräfte auf sie einwirken, so muss auch gesetzt werden ihre Ruhe und ihre Bewegung als eine bleibende, bis sie durch Bewegungskräfte geändert wird. Es sind daher zu suchen die Bestimmungen einer

Bewegung, welche vollständig abzuleiten ist aus dem sich immer gleichbleibenden Zustande der Bewegung selbst, in welchem sich der bewegte Körper befindet, die ich stabile Bewegung nennen will.

Der Begriff der Richtung ist offenbar die Bestimmung einer Bewegung, durch welche die Punkte festgesetzt werden, nach denen sich die Bewegung hin erstreckt, wenn die Bewegung ungestört vor sich geht; sie wird daher bei der stabilen Bewegung als eine stets gleichbleibende zu bezeichnen sein.

Eine Bewegung ist aber vollständig bestimmt, wenn die Punkte bestimmt sind, in welchen sich zu jeder gegebenen Zeit die Punkte des bewegten Körpers befinden; betrachte ich nur die Bewegung eines einzigen Punktes, so ist dessen Lage zu bestimmen, wenn 1. die Bahn selbst bekannt ist, und 2. wie viel er davon in jedem Zeittheil zurücklegt, d. h. wenn bekannt ist das Verhältniss zwischen dem zurückgelegten Raum zu der dazu gebrauchten Zeit. Ist es constant, so kann ich zu seiner Bestimmung einen beliebig grossen Raum nehmen, $c = \frac{s}{t}$, daher $s = ct$. Ist es veränderlich, so muss ich einen unendlich kleinen Raum nehmen, in dessen Ausdehnung das Verhältniss als gleichbleibend zu betrachten ist, d. h. den Differentialquotienten $\frac{\delta s}{\delta t}$ oder $\delta_t s$.

Da bei der stabilen Bewegung alle Bestimmungen dieselben bleiben sollen, muss c constant sein.

Was nun die Form der Bahn betrifft, so ist zunächst klar, dass sie stets gleich bleiben muss, d. h., dass jedes Stück derselben jedem gleich langen anderen congruent sein muss. Ferner soll nach unserer obigen Forderung dieselbe vollständig abzuleiten sein aus dem Zustande der Bewegung, in dem der Körper sich befindet, den wir uns als den Grund des Weitergehens zu denken haben. Dieser ist wirksam nur in Richtung der Bahn, kann aber offenbar in

Seitenrichtungen durchaus keine Verschiedenheiten bewirken; es dürfen deshalb keine Verschiedenheiten in dem Verhalten des Weges nach Seitenrichtungen vorhanden sein, d. h. da durch Seitenbewegung einer Linie eine Fläche entsteht, und in dieser ein Punkt durch Bestimmung gegen zwei der Linie vollständig zu geben ist und in allen stetig in einander übergehenden Seitenrichtungen ebenso bestimmte Punkte möglich sind, so müssen gegen alle Punkte, die durch eine solche Bestimmung gegeben sind, sich alle Punkte der Linie gleich verhalten, d. h. also: durch Bestimmungen von n Punkten einer geraden Linie aus ist kein ausserhalb gelegener Punkt vollständig zu bestimmen, sondern $n - 2$ Bestimmungen geben immer nur wieder dieselben Punkte, welche die beiden anderen schon allein geben, oder wenn ein Punkt ausserhalb einer solchen Linie gegen zwei Punkte derselben bestimmt ist, ist er es gegen alle. Daher denn auch, wenn zwei Punkte einer solchen Linie gegen äussere Coordinaten-Punkte bestimmt sind, es auch alle anderen sind, d. h. eine solche Linie ist durch zwei Punkte vollständig gegeben; wir nennen sie gerade.

Aus dieser Definition folgt sogleich, dass zwischen zwei Punkten nur eine gerade Linie möglich ist, dass gleich lange gerade Linien congruent sind, daher die gerade Linie unmittelbar durch Auftragen eines ihrer als Maasseinheit angenommenen Theile gemessen werden kann, und auch zur Bestimmung der Lage eines Punktes gegen einen anderen zu benutzen ist. Die Länge der geraden Linie zwischen zwei Punkten wollen wir den geraden Abstand derselben nennen.

Gerade Raumgrössen $a$ter Dimension sind solche, in denen durch je a beliebige Punkte eine gerade Raumgrösse $(a - 1)$ter Dimension zu legen ist, die ganz in der ersteren liegt. (Ebene, oder gerade Fläche, ist eine solche, deren jede zwei Punkte durch gerade Linien verbunden werden können, welche ganz in derselben liegen.)

Winkel ist das Lagenverhältniss zweier gerader Linien zu einander, die durch Linien zu begrenzende Raumgrösse muss eine Fläche, und zwar eine bestimmte sein, daher der Winkel gemessen wird durch das Stück einer Ebene, welches zwischen diesen Schenkeln liegt; als gleich sind congruente Winkel zu setzen . . ."

Am 21. April 1868 schreibt Helmholtz an Schering in Göttingen:

„Indem ich Ihnen meinen Dank für die Uebersendung der beiden kleinen, Riemann betreffenden Aufsätze ausspreche, erlaube ich mir eine Frage. In Ihrer Notiz über sein Leben finde ich die Angabe, dass er eine Habilitationsvorlesung gehalten habe über die Hypothesen der Geometrie. Ich habe selbst in den letzten zwei Jahren im Zusammenhange mit meinen Untersuchungen über physiologische Optik mich mit dem gleichen Gegenstande beschäftigt, aber die Arbeit noch nicht abgeschlossen und veröffentlicht, weil ich immer noch hoffte, einzelne Punkte verallgemeinern zu können. Ich kann namentlich noch nicht Alles für drei Dimensionen gleich allgemein machen, wie ich es für zwei kann. Nun erkenne ich aus den wenigen Andeutungen, die Sie über das Resultat der Arbeit geben, dass Riemann zu genau denselben Resultaten gekommen ist wie ich. Mein Ausgangspunkt ist die Frage: Wie muss eine Grösse von mehreren Dimensionen beschaffen sein, wenn in ihr feste Körper (i. e. Körper von unveränderten relativen Abmessungen) sich überall sollen continuirlich, monodrom und so frei bewegen können, wie die Körper im wirklichen Raume sich bewegen. Antwort, ausgedrückt in der Weise unserer analytischen Geometrie: „Es seien x, y, z, t die rechtwinkeligen Coordinaten eines Raumes von vier Dimensionen, so muss sein für jeden Punkt unseres Raumes von drei Dimensionen $x^2 + y^2 + z^2 + t^2 = R^2$, wo R eine unbestimmt bleibende Constante, die im Euclidischen Raume unendlich ist." — Ich möchte Sie bitten, mich wissen zu lassen, ob Riemann's

Aufsatz schon gedruckt ist, oder ob Aussicht ist, dass er bald gedruckt werden könne, was mir höchst wünschenswerth erscheint; eventualiter ob Riemann von demselben Ausgangspunkte ausgegangen ist, dann würde nämlich meine Arbeit unnütz, und ich möchte dann nicht mehr so viel Zeit und Kopfschmerzen daran verwenden, als sie mich schon gekostet haben."

Als ihm Schering darauf mitgetheilt hatte, dass „das wesentlichste Moment in Riemann's Untersuchung der Satz bildet, dass die von Gauss als Krümmungsmaass definirte Grösse eine Differentialinvariante für homogene Differentialausdrücke zweiten Grades erster Ordnung mit zwei Variabeln bedeutet", antwortet ihm Helmholtz bereits am 18. Mai:

„Dank für das Exemplar von Riemann's Habilitationsschrift ... Beiliegend sende ich Ihnen eine kurze Darstellung desjenigen, was in meinen Arbeiten über denselben Gegenstand von Riemann's Arbeit nicht gedeckt wird, mit der Bitte, es der Königl. Gesellschaft zum Abdruck in den Göttinger Anzeigen (Sitzungsberichten) zu überreichen. Ich glaube, dass eine vollständige Ausarbeitung des Ganzen im Zusammenhange wohl wünschenswerth sein wird, und ich möchte sie dann am liebsten in den Abhandlungen Ihrer Gesellschaft, wo Riemann's steht, gedruckt sehen. Ich erlaube mir deshalb die Frage, ob Abhandlungen correspondirender Mitglieder der Gesellschaft, was ich bin, aufgenommen werden, und wann etwa wieder der Druck eines neuen Bandes beginnen würde ... Verzeihen Sie um Riemann's willen, wenn ich Ihnen mit diesen Dingen Mühe mache."

Schon wenige Tage darauf hielt er am 22. Mai in Heidelberg den oben erwähnten Vortrag, den er noch am 30. April 1869 durch einen Zusatz ergänzte, während die Arbeit selbst in den Nachrichten der Göttinger Gesellschaft am 3. Juni 1868 erschien.

Die physiologisch-optischen Untersuchungen hatten

Helmholtz zur Ueberzeugung geführt, dass, so wie beim Acte des Sehens gleichzeitig zwei verschiedene Empfindungen unverschmolzen zum Bewusstsein kommen, und daher ihre Verschmelzung zu dem einfachen Anschauungsbilde der körperlichen Welt durch einen Act des Bewusstseins auf Grund der Erfahrung geschieht, es überhaupt unmöglich ist, den Theil unserer Anschauungen, welcher der unmittelbaren Empfindung angehört, von demjenigen zu trennen, der erst durch Erfahrung gewonnen ist. Nur die Beziehungen des Raumes und der Zeit, also auch der Zahl sind nach ihm der inneren und äusseren Welt gemeinsam, in diesen allein also kann eine volle Uebereinstimmung der Vorstellungen mit den abgebildeten Dingen erstrebt werden. So trat naturgemäss die Frage an ihn heran, wodurch wird diese Uebereinstimmung der Raum- und Zeitvorstellungen mit den abgebildeten Dingen erreicht, was ist in diesen Vorstellungen a priorisch, was Ausfluss der Erfahrung, und welches ist der Ursprung der allgemeinen Raumanschauung überhaupt? Er ist weit davon entfernt, wie er das schon in seiner physiologischen Optik ausführt, Widerspruch zu erheben gegen die Kant'sche Auffassung des Raumes als transcendentaler Form der Anschauung. Aber er hatte auf dem Gebiete der Sinneswahrnehmungen sich klar gemacht, dass es z. B. in der Organisation unseres Auges liegt, alles, was wir sehen, nur als eine räumliche Vertheilung von Farben zu sehen, ohne dass durch diese Gesichtswahrnehmung selbst irgend welche räumliche oder zeitliche Aufeinanderfolge der Farben bedingt wird, — und da lag für ihn die Frage nahe, ob denn die transcendentale Form der Raumanschauung nothwendig die Annahme nach sich zieht, dass nach oder neben bestimmten Raumwahrnehmungen auch eine andere bestimmte eintreten müsse, oder ob darin die Annahme gewisser Axiome eingeschlossen ist.

Es war zunächst sein Bestreben, die Begriffsentwickelungen in der Geometrie von den Ergebnissen der Erfahrung,

welche scheinbar als Denknothwendigkeiten auftreten, zu sondern, während er erst in seiner zehn Jahre später gehaltenen Rede über die Thatsachen der Wahrnehmungen die Resultate seiner Forschungen zum Aufbau eines einheitlichen philosophischen Systems, welches wesentlich von dem Kantschen abwich, zusammenfasste. War die Abweichung von Kant auch schon theilweise früher in seiner physiologischen Optik hervorgetreten, so vollzog sie sich doch erst entschieden in den Arbeiten vom Jahre 1868 über die Axiome der Geometrie. In einem 20 Jahre später abgegebenen Gutachten über ein Werk, welches damals allgemeineres Interesse erregte, führt er aus:

„Die Kantianer strictester Observanz betonen vor Allem die Punkte, wo Kant meines Erachtens unter der unvollkommenen Entwickelung der Specialwissenschaften seiner Zeit gelitten und sich in Irrthümer verwickelt hat. Der Kernpunkt dieser Irrthümer sind die Axiome der Geometrie, die er für a priori gegebene Formen der Anschauung ansieht, die aber in der That Sätze sind, die durch Beobachtung geprüft und, wenn sie unrichtig wären, eventuell auch widerlegt werden könnten. Dies letztere habe ich zu erweisen gesucht. Damit fällt aber überhaupt die Möglichkeit fort, metaphysische Grundlagen der Naturwissenschaft geben zu können, an die Kant in der That glaubte. Nun ist es in seinen hinterlassenen Papieren für meinen Standpunkt sehr interessant, zu sehen, wie diese Angelegenheit den alternden Mann in seinem Innern beunruhigt hat, wie er sie hin- und hergewälzt, dafür immer wieder und wieder neue Formulirungen gesucht und keine gefunden hat, die ihn befriedigten. Dabei tauchen im Einzelnen immer noch sehr überraschende Einsichten auf, wie man sie bei einem Manne seiner geistigen Grösse erwarten darf, z. B. über die Natur der Wärme. ... Meines Erachtens kann man, was Kant Grosses geleistet hat, nur halten, wenn man seinen Irrthum über die rein transcendentale Bedeutung der geometrischen und mecha-

nischen Axiome fallen lässt. Damit fällt aber auch jede Möglichkeit, sein System zu einer Grundlage der Metaphysik zu machen, und dies scheint mir der innere Grund zu sein, weshalb sich unter seinen Anhängern alle, die metaphysische Neigungen und Hoffnungen haben, an diese bestrittenen Punkte anzuklammern suchen."

Dass sich Helmholtz mit diesen Problemen schon während der Ausarbeitung seiner physiologischen Optik beschäftigte, geht aus einigen an seinen damaligen mathematischen Collegen Hesse im Jahre 1865 gerichteten Briefen hervor, in denen er sich bezüglich der Eigenschaften der homogenen Functionen zweiten Grades mit beliebig vielen Variabeln Mittheilungen erbat. Aus einer noch früheren Zeit stammen einige kurze Aufzeichnungen, in denen er sich selbst erst in consequenter Durcharbeitung der in die Mathematik und Naturwissenschaften eintretenden Begriffe und Anschauungen die a priorischen Anschauungen des Raumes und der Zeit zu analysiren bestrebt ist. Abgesehen von Bruchstücken, welche ihrem Inhalte nach in die beiden oben genannten Arbeiten vom Jahre 1868 Aufnahme gefunden haben, die nachher besprochen werden sollen, findet sich unter anderem die als Disposition zu einer beabsichtigten Ausarbeitung zu betrachtende Notiz:

„Um den Sinn der Axiome klar zu machen, ist es nöthig, zu untersuchen, welche anderen Systeme der Raummessung logisch denkbar seien. Logisch denkbar in Bezug auf Grössenverhältnisse ist das algebraisch mögliche, da die Algebra nichts ist als die logische Entwickelung des Begriffes der Grösse und ihrer Gleichheit. — Punkt ein Ort im Raume, innerhalb dessen keine Verschiedenheit mehr zu finden ist. — Bei der Art unseres Wahrnehmungsvermögens muss ferner die Möglichkeit der Bewegung von jedem Punkte des Raumes in continuirlichem Uebergange zu jedem anderen vorausgesetzt werden, i. e. der Raum sei continuirlich zusammenhängend. Durch die Bewegung wird zugleich

die Anordnungsweise der Raumpunkte neben einander gegeben, ohne dass noch Grössenmessung nöthig ist.

Eine netzförmige Anordnungsweise unterscheidet sich von einer ganz continuirlichen dadurch, dass eine begrenzte Anzahl einzelner discreter Punkte einen Theil vollständig abgrenzen kann. Linie ist eine Reihe von Punkten der Art, dass jeder Theil derselben durch eine endliche Anzahl von Punkten vollständig abgegrenzt werden kann. Eine geschlossene Linie ist eine solche, welche durch einen Punkt nicht in zwei Theile getheilt wird; eine ungeschlossene wird es. Eine zellenartige Anordnung des Raumes würde zulassen, dass ein Theil durch eine endliche Anzahl von Linien zu begrenzen wäre. Fläche ist ein Raumgebilde, welches durch eine endliche Anzahl von Linien vollständig abgegrenzt werden kann. Der wirkliche Raum ist dadurch charakterisirt, dass er nur durch Flächen abgegrenzt oder getheilt werden kann; ferner dadurch, dass er durch jede unbegrenzte Fläche (geschlossene einbegriffen) vollständig getheilt wird. Er ist also einfach zusammenhängend."

Alle weiteren Aufzeichnungen, zu denen noch eine grosse Anzahl einzelner mathematischer Ausführungen von dem höchsten Interesse gehört, die uns Helmholtz auch als einen ausgezeichneten Algebraiker bewundern lassen, zeigen uns deutlich die Richtung, in welcher sich seine Untersuchungen über die Axiome der Geometrie, ohne Kenntniss der Forschungen Anderer über diesen Gegenstand, bewegten. Er beabsichtigte auch seine Resultate in Form einer zusammenhängenden Theorie eines Raumes von zwei, drei und mehr Dimensionen zu entwickeln, bis er durch die oben erwähnte Mittheilung von Schering bezüglich der Riemannschen Habilitationsschrift veranlasst wurde, in seinen beiden Veröffentlichungen in Heidelberg und Göttingen nur das, was in seinen Untersuchungen zu den von Riemann gewonnenen Resultaten neu hinzukam, eingehend zu behandeln.

Bei seinen Untersuchungen über die Sinneswahrnehmungen hatte sich Helmholtz die Frage aufgedrängt, was in den einfachsten Formen unserer Raumanschauung aus der Erfahrung entnommen sei, was nicht aus einer solchen herrühren könne, und wie viel nothwendig aus der Erfahrung entnommen werden müsse, um das Andere darauf zu stützen. Es waren bereits früher Gründe und Gegengründe dafür vorgebracht worden, dass entweder die geometrischen Axiome ursprünglich gegebene Formen unseres Anschauungsvermögens seien, welche aller Erfahrung vorausgingen und in der Organisation unseres Geistes begründet seien, oder im Gegentheil für Erfahrungssätze allgemeinster Art zu gelten haben. Um diese Untersuchung aus dem philosophisch-physiologischen Gebiete in das mathematische zu übertragen, suchte sich Helmholtz zum Zwecke einer präciseren Fragestellung klar zu machen, welche andere Beschaffenheiten des Raumes, als einer Grösse von mehreren Dimensionen, überhaupt logisch denkbar oder, da es sich hier um Grössenverhältnisse handelt, algebraisch möglich wären, wenn man von den bisher angenommenen Axiomen unserer Geometrie absehen wollte.

Wesentlich war es für die Untersuchungen Helmholtz's gewesen, dass er bei seinen physiologisch-optischen Arbeiten zwei anderen Fällen von Grössen mehrerer Variabeln begegnet war, in deren Abmessungssystem sich gewisse fundamentale Unterschiede gegen die Raummessungen zeigten. Während im Raume zwischen je zwei Punkten eine Grössenbeziehung besteht, die mit der zwischen zwei anderen verglichen werden kann — nämlich das Zahlenverhältniss der Entfernung $ab:bc$ der drei Punkte a, b, c — wird im Gebiete der Farben, wenn man die Unterschiede der Helligkeit mit hinzunimmt, die einfachste Maassbeziehung erst zwischen vier Farben a, b, c, d bestehen, wenn diese aus je zweien mischbar sind, also in der Farbentafel in gerader Linie liegen — nämlich das Verhältniss der beiden Verhältnisse, in denen a und c

gemischt werden müssen, um einerseits *b*, andererseits *d* zu geben. Er hatte ferner bei der Untersuchung der Bildung des Augenmaasses im zweidimensionalen Gesichtsfelde gefunden, dass die Messung sehr wahrscheinlich darauf beruht, dass durch die Bewegungen des Auges die Netzhaut wie ein fester Zirkel am Netzhautbilde entlang geführt wird, wobei aber ein Unterschied gegen die Messungen im äusseren Raume darin stattfindet, dass wir diesen Zirkel bei den Messungen so gut wie gar nicht zur Vergleichung verschieden gerichteter Linien gebrauchen können. Dadurch wurde Helmholtz auf den Einfluss aufmerksam, den das Messungsmittel auf das System der ganzen Messung und die Form ihrer Resultate ausübt, und diese Ueberlegungen führten ihn zu Untersuchungen, die sich nicht nur auf den Raum, sondern auch auf jedes andere Gebiet von mehreren Dimensionen beziehen, in welchem eine durch nur zwei Punkte gegebene Grösse (Entfernung) messend verglichen werden kann mit einer entsprechenden, die sich auf ein beliebig gelegenes anderes Punktepaar bezieht. Helmholtz zeigt, dass alles darauf ankomme, die speciellen Voraussetzungen zu formuliren, unter denen das Quadrat der Entfernung zweier unendlich naher Punkte die verallgemeinerte Form des Pythagoräischen Lehrsatzes annimmt, also durch eine homogene Function zweiten Grades von den Differentialien dreier beliebiger zur Abmessung der Lage der Punkte gebrauchten Grössen ist.

„Ich glaube, dass die von mir durchgeführte Betrachtung nicht ohne Wichtigkeit auch für die Frage von der Auffindung der geometrischen Grundsätze durch ihre ersten Entdecker ist. Denn wenn die Menschen nach einer mathematischen Formulirung suchten, der sie ihre mehr oder weniger genauen Beobachtungen und Messungen anpassen konnten, so konnten sie keine andere, die sich hätte consequent durchführen lassen, finden, als die im Pythagoräischen Lehrsatz ausgesprochene, weil es in der That keine

andere gab. Und darin ist, glaube ich, auch die eigenthümliche Art von Ueberzeugung begründet, die wir von den sowohl theoretisch als praktisch unbeweisbaren Axiomen haben. Es bleibt uns nämlich keine Wahl, sie anzunehmen, wenn man nicht auf alle Möglichkeit der Raummessung verzichten will."

Helmholtz sieht nun zunächst völlig ab von Kant's Lehre der a priori gegebenen Formen der Anschauung und der Axiome der Geometrie und legt sich die Frage nach den Thatsachen vor, welche der Geometrie zu Grunde liegen, oder die Frage, welche Sätze der Geometrie sprechen Wahrheiten von thatsächlicher Bedeutung aus, welche dagegen sind nur Definitionen oder Folgen von Definitionen und der besonderen gewählten Ausdrucksweise. Die Beantwortung dieser Frage bietet aber deshalb so grosse Schwierigkeiten, weil man es in der Geometrie stets mit idealen Gebilden zu thun hat, denen sich die körperlichen Gebilde der wirklichen Welt immer nur annähern; die Entscheidung darüber, ob z. B. die Flächen eines Körpers eben, seine Kanten gerade sind u. s. w., kann nur mit Hülfe der geometrischen Sätze getroffen werden, deren thatsächliche Richtigkeit erst erwiesen werden soll. Man sieht auch leicht, dass ausser den gewöhnlich für die Geometrie hingestellten Axiomen von Euclid noch eine Reihe von weiteren Thatsachen stillschweigend vorausgesetzt wird. Es ist wesentlich zu beachten, dass wir uns nur solche Raumverhältnisse anschaulich vorstellen können, welche im wirklichen Raume möglicher Weise darstellbar sind, und dass wir uns daher durch diese Anschaulichkeit nicht verleiten lassen dürfen, etwas als selbstverständlich vorauszusetzen, was in Wahrheit eine besondere und nicht selbstverständliche Eigenthümlichkeit der uns vorliegenden Aussenwelt ist.

Da aber die analytische Geometrie die Gebilde des Raumes nur als Grössen behandelt, welche durch andere

Grössen bestimmt werden, indem alle uns bekannten Raumverhältnisse messbar, also auf Bestimmung von Grössen, Linienlängen, Winkeln, Flächen u. s. w. zurückgeführt werden können, so wird dieselbe zu ihren Beweisen die Anschauung nicht brauchen, und Helmholtz wurde durch diese Ueberlegung naturgemäss zur Formulirung der Frage geführt, welche analytischen Eigenschaften des Raumes und der Raumgrössen müssen für die analytische Geometrie vorausgesetzt werden, um deren Sätze vollständig von Anfang her zu begründen. Er gewann damit den Vortheil, die Möglichkeit folgerichtiger Durchführung eines abweichenden Systemes von Axiomen vollständig überblicken zu können, da die in der analytischen Geometrie auszuführende Rechnung eine rein logische Operation ist, welche keine Beziehung zwischen den der Rechnung unterworfenen Grössen ergeben kann, die nicht schon in den Gleichungen, welche den Ansatz der Rechnung bilden, enthalten ist.

Durch die Untersuchungen von Gauss war gezeigt worden, dass, während sich das Quadrat der Länge eines Linienelementes in der Ebene durch die Summe der Quadrate der Incremente der beiden rechtwinkligen Coordinaten ausdrückt, sich das Quadrat eines Linienelementes auf einer beliebigen Fläche als homogene Function zweiten Grades der Incremente zweier allgemeiner Coordinaten darstellt, welche die Lage eines Punktes auf einer Fläche bestimmen. Wenn Figuren von endlicher Grösse nach allen Theilen einer solchen Fläche ohne Veränderung ihrer in der Fläche selbst zu machenden Abmessungen beweglich und um jeden beliebigen Punkt drehbar sein sollen, so muss ferner die Fläche in allen ihren Punkten ein constantes Krümmungsmaass haben, wobei das Krümmungmaass der Fläche in einem Punkte von Gauss definirt ist als das reciproke Verhältniss eines unendlich kleinen, diesen Punkt umschliessenden Flächenstückes zu demjenigen Flächentheil, welcher durch, zu den Normalen parallele, Kugelradien auf der Einheits-

kugel abgebildet wird. Aber selbst auf Flächen constanten Krümmungsmaasses, wo also die freie Beweglichkeit der Figuren möglich ist, würde die Geometrie eine völlig von der unserigen abweichende Gestalt gewinnen.

Helmholtz geht von der Annahme aus, dass es uns als Bewohnern eines Raumes von drei Dimensionen möglich ist, die verschiedenen Arten, in denen flächenhafte Wesen ihre Raumvorstellungen ausbilden, uns zur Anschauung zu bringen und deren sinnliche Eindrücke uns auszumalen; Räume von mehr als drei Dimensionen können wir jedoch nicht mehr anschauen, da alle unsere Mittel sinnlicher Wahrnehmung sich nur auf einen dreidimensionalen Raum erstrecken — und nun führt er die Geometrie näher aus, wie sie sich verstandbegabten Wesen von nur zwei Dimensionen darstellen würde.

Er wirft die Frage auf, was dann aus den Axiomen unserer Geometrie wird, dass es zwischen zwei Punkten nur eine kürzeste Linie, die gerade Linie, giebt, dass ferner durch drei nicht in gerader Linie liegende Punkte des Raumes eine Fläche, die Ebene, gelegt werden kann, in welche jede zwei ihrer Punkte verbindende gerade Linie ganz hineinfällt, und dass endlich durch einen ausserhalb einer geraden Linie liegenden Punkt zu dieser nur eine einzige sie niemals schneidende, parallele Gerade gelegt werden kann. Jene Flächenwesen würden freilich ebenfalls im Allgemeinen kürzeste Linien zwischen zwei Punkten ziehen können, die er geradeste Linien nennt, aber schon in dem einfachsten Falle der Kugel würden zwischen je zwei Polen sich unendlich viele geradeste Linien ziehen lassen; parallele, sich nicht schneidende geradeste Linien würde man gar nicht ziehen können, und die Summe der Winkel im Dreieck würde immer grösser sein als zwei Rechte und um so grösser, je grösser die Fläche des Dreiecks. Der Raum jener Wesen würde allerdings unbegrenzt, aber endlich ausgedehnt gefunden oder mindestens vorgestellt werden

müssen. Nur wenn das constante Krümmungsmaass den Werth Null hat, also die Fläche nach Gauss auf einer Ebene durch Biegung ohne Dehnung und Zerreissung abwickelbar ist, würde unsere Geometrie Geltung behalten.

Aber zunächst handelte es sich weder für Riemann noch für Helmholtz darum, unter welchen Bedingungen unsere geometrischen Axiome erhalten bleiben, sondern um die Frage, unter welchen, bisher nicht klar erkannten Voraussetzungen wir überhaupt zur Kenntniss unserer Axiome gelangt sind. Riemann legte dar, wie bei einer Verallgemeinerung des dreidimensionalen Raumes die allgemeinen Eigenthümlichkeiten des Raumes, seine Continuität und die Vielfältigkeit seiner Dimensionen dadurch ausgedrückt werden können, dass jedes besondere Einzelne in der Mannigfaltigkeit, die es darbietet, also jeder Punkt bestimmt sei durch Abmessung von n continuirlich und unabhängig von einander veränderlichen Grössen, seinen Coordinaten, so dass der Raum eine n-fach ausgedehnte Mannigfaltigkeit wird, und wir ihm n Dimensionen zuschreiben. Riemann fügt als weitere Forderung hinzu, dass die Länge einer Linie unabhängig sei von Ort und Richtung, dass also jede Linie durch jede andere messbar sei, und da in unserem wirklichen Raume das Maass eines jeden Linienelementes die Quadratwurzel aus einer homogenen Function zweiten Grades der Incremente von drei Abmessungen irgend welcher Art ist, so geht er bei seiner allgemeinen Untersuchung von dieser Form des Linienelementes als von einer hypothetischen aus. Er verallgemeinert endlich die Definition des Krümmungsmaasses auf den Raum von n Dimensionen und zeigt, dass, wenn er schliesslich noch die Forderung hinzufügt, dass endliche Raumgebilde ohne Formveränderung überall hin beweglich und in jeder Richtung drehbar sein sollen, das Krümmungsmaass constant sein muss. Es zeigt sich dabei, dass durch die zu Grunde gelegten Voraussetzungen die Unendlichkeit der Ausdehnungen des dreidimensionalen Raumes

nicht gefordert wird; der Raum könnte auch in Bezug auf eine vierfach ausgedehnte Mannigfaltigkeit das sein, was für eine dreifache Mannigfaltigkeit eine Fläche mit constantem Krümmungsmaass ist.

Die Untersuchung von Helmholtz war grösstentheils implicite schon in der von Riemann enthalten, lieferte jedoch in einer Beziehung wesentlich Neues und wurde gerade dadurch für alle weiteren Folgerungen und für die Frage nach den Axiomen der Geometrie von grosser Bedeutung. Er suchte nämlich die Bedingungen aufzustellen, unter denen der von Riemann hypothetisch angenommene, verallgemeinerte Pythagoräische Satz gültig war, und machte die von diesem erst zum Schluss seiner Untersuchung eingeführte Forderung, dass Raumgebilde ohne Formveränderung denjenigen Grad von Beweglichkeit haben sollen, den die Geometrie voraussetzt, von Anfang an zur Grundlage seiner Betrachtungen.

„Uebrigens muss ich bekennen, dass, wenn auch durch die Veröffentlichung von Riemann's Untersuchungen die Priorität in Bezug auf eine Reihe meiner eigenen Arbeitsresultate vorweg genommen ist, es für mich bei einem so ungewöhnlichen und durch frühere Versuche eher discreditirten Gegenstande von nicht geringem Gewicht war, zu sehen, dass ein so ausgezeichneter Mathematiker dieselben Fragen seines Interesses gewürdigt hatte, und dass es mir eine gewichtige Bürgschaft für die Richtigkeit des eingeschlagenen Weges war, ihn als Gefährten darauf anzutreffen.“

Dass alle ursprüngliche Raummessung auf Beobachtung der Congruenz beruht, bildete für Helmholtz den Ausgangspunkt der Untersuchung. Da aber von Constatirung der Congruenz nicht die Rede sein kann, wenn nicht feste Körper oder Punktsysteme in unveränderlicher Form zu einander bewegt werden können, und wenn nicht Congruenz zweier Raumgrössen ein unabhängig von allen Be-

wegungen bestehendes Factum ist, so stellte er sich die Aufgabe, die allgemeinste analytische Form einer mehrfach ausgedehnten Mannigfaltigkeit zu suchen, in der die verlangte Art der Bewegungen möglich ist. Er prüft zunächst, in wie weit die von ihm aufgestellten Voraussetzungen seiner Untersuchung, welche 1. die Continuität und Dimensionen, 2. die Existenz beweglicher und in sich fester Körper, 3. die freie Beweglichkeit, 4. die Unabhängigkeit der Form fester Körper von der Drehung betreffen, die Möglichkeit verschiedener Systeme der Geometrie einschränken. Die gemachten Annahmen führen ihn zu einem von der Richtung unabhängigen Maass des Linienelementes in der Form, wie es Riemann verlangt, und er fasst die von ihm aufgestellten Bedingungen hierfür kurz dahin zusammen, dass ein Punkt einer n-fachen Mannigfaltigkeit durch n Coördinaten bestimmt ist, dass ferner zwischen den $2n$ Coordinaten eines unendlich benachbarten Punktepaares eine von der Bewegung des letzteren unabhängige Gleichung besteht, welche für alle congruenten Punktepaare dieselbe ist, und dass endlich bei sonst vollkommen freier Beweglichkeit des festen Körpers die Eigenschaft der Monodromie des Raumes erfüllt sein soll, wonach, wenn ein fester Körper von n Dimensionen sich um $n - 1$ feste Punkte dreht, die Drehung ohne Umkehr in die Anfangslage zurückführt. Indem er nun diese Bedingungen auf den Fall von drei unabhängigen Variabeln anwendet, kann er auf rein analytischem Wege zeigen, dass eine homogene Function zweiten Grades der Incremente derselben existirt, welche bei der Drehung unverändert bleibt, und dass es somit ein von der Richtung unabhängiges Maass des Linienelementes giebt.

Bei der Fortführung seiner Betrachtungen schlich sich ein Versehen durch die Behauptung ein, dass, wenn noch die unendliche Ausdehnung des Raumes gefordert wird, keine andere Geometrie möglich ist als die von Euclid gelehrte, während, wie Beltrami nachgewiesen hat, noch

die Geometrie von Lobatschewsky existiren kann, nach welcher in dem nach allen Richtungen unendlich ausgedehnten Raume noch Figuren, die einer gegebenen congruent sind, in allen Theilen desselben construirt werden können, ferner zwischen je zwei Punkten nur eine kürzeste Linie möglich ist, aber der Satz von den Parallellinien nicht mehr zutrifft. Nur wenn das Krümmungsmaass des Raumes überall den Werth Null hat, entspricht ein solcher Raum den Axiomen des Euclid, und diesen Raum nennt Helmholtz dann einen ebenen Raum. Ist das Krümmungsmaass constant und positiv, so erhalten wir den sphärischen Raum, in welchem die geradesten Linien in sich zurücklaufen, und es keine Parallelen giebt; ein solcher Raum ist, wie die Oberfläche einer Kugel, unbegrenzt, aber nicht unendlich gross. Ist endlich das Krümmungsmaass constant und negativ, so laufen in solchen pseudosphärischen Flächen die geradesten Linien in das Unendliche aus, und in jeder ebensten Fläche lässt sich durch jeden Punkt ein Bündel von geradesten Linien legen, welche eine gegebene andere geradeste Linie jener Fläche nicht schneiden. In einem Raume, dessen Krümmungsmaass von Null verschieden ist, werden Dreiecke von grossem Flächeninhalt eine andere Winkelsumme haben als kleine; jedoch berechtigt uns das Resultat der geometrischen und astronomischen Messungen, welche die Winkelsumme eines Dreieckes nur nahezu und nie streng gleich zwei rechten Winkeln ergeben können, offenbar nur, zu schliessen, dass das Krümmungsmaass unseres Raumes sehr klein ist; dass es in Wirklichkeit verschwindet, lässt sich nicht beweisen, es ist ein Axiom.

Sehr interessant ist die in seinem Vortrage gegebene Ausführung, in welcher Helmholtz zeigt, dass wir uns den Anblick einer pseudosphärischen Welt nach allen Richtungen hin ausmalen können, und dass somit die Axiome unserer Geometrie durchaus nicht in der gegebenen Form unseres Anschauungsvermögens begründet sein können. Beltrami

hatte einen pseudosphärischen Raum im Innern einer Kugel des Euclid'schen Raumes so abgebildet, dass jede geradeste Linie und jede ebenste Fläche des ersteren durch eine gerade Linie und eine Ebene in der letzteren vertreten wird; Helmholtz macht es durch ähnliche Abbildungsbetrachtungen plausibel, dass, wenn unsere Augen mit passenden Convexgläsern bewaffnet wären, uns der pseudosphärische Raum verhältnissmässig gar nicht sehr fremdartig erschiene, und dass wir nur in der ersten Zeit bei der Abmessung der Grösse und Distanz fernerer Gegenstände Täuschungen unterworfen sein würden.

Die Behauptung von Helmholtz, dass, wenn zu den von ihm aufgestellten Bedingungen noch die Forderung hinzukäme, dass der Raum unendlich ausgedehnt sei, die Euclid'sche Geometrie eindeutig bestimmt werde, widerlegt zuerst Beltrami in einem sehr interessanten, am 24. April 1869 von Bologna aus an Helmholtz gerichteten Briefe:

„C'est après beaucoup d'hésitations que je me suis décidé à prendre la plume pour vous adresser ces lignes, car il m'a toujours semblé que si l'on craint beaucoup, en général, d'importuner les grands de ce monde pour des choses de peu d'importance, à plus forte raison on devrait se garder d'occuper même une faible portion du temps dont les princes de l'esprit se servent si généreusement pour les progrès de l'humanité. Cependant, ayant beaucoup plus d'exemples de la bienveillance de ces derniers que de la condescendance de ceux-là, j'ai fini par céder à mon vif désir de vous communiquer mes réflexions . . . Autant qu'il m'est donné de pénétrer dans le véritable sens de vos belles recherches, je n'y rencontre aucune conclusion que je ne puisse vérifier par les points de vue, qui me sont particuliers, et que j'ai exposés, en partie, dans les deux publications intitulées: Saggio di interpretazione della geometria non euclidea et Theoria fondamentale degli spazii di curvatura costante, que j'ai eu l'honneur de vous adresser, il y a quelque temps.

Il n'y a qu'un point sur le quel j'ai à vous demander des lumières. Ce point . . . . Cette conclusion est confirmée, sans démonstration proprement dite, vers la fin (§. 4) de la note de Goettingue, où, cependant, elle est rapportée à un espace de trois dimensions. Or, cela paraîtrait en contradiction avec le fait, que j'ai démontré, ou que j'ai cru de démontrer, au sujet de la surface pseudosphérique (c'est à dire à mesure de courbure constante, mais négative), je veux dire le fait de l'étendue infiniment grande de cette surface en tous sens. Et ce qui me porterait à croire à la vérité de ce fait, c'est que toutes les autres propriétés de cette surface, déduites d'après le même ordre de considérations et de formules, ont été vérifiées par moi sur un cercle pseudosphérique du diamètre de 1,04 m que j'ai construit d'après un procédé approximatif, dont je publierai la description, et qui me semble très approprié à populariser les nouvelles conceptions sur la géométrie abstraite. Maintenant, voici la seule manière que j'ai entrevue, jusqu'à présent, pour mettre d'accord ces deux conclusions opposées. L'ensemble de mes déductions repose sur la représentation des surfaces par la formule de Gauss $ds^2 = Edu^2 + 2Fdudv + Gdv^2$. Or, dans cette méthode les rapports de la surface et de l'espace environnant échappent entièrement: la surface est considérée en elle même, telle qu'elle le serait par un être, qui n'eût pas le sens de la troisième dimension. Il s'ensuit que, si la surface, telle qu'elle existe dans l'espace, se coupe elle-même le long de certaines lignes, cela est comme non-avenu d'après la formule précédente: la coincidence de deux points de la surface en un même point de l'espace est, en d'autres termes, un fait étranger, hétérogène à ceux que la formule de Gauss, à elle seule, peut nous apprendre. C'est précisément ici que l'on rencontre un des points d'attache entre l'oeuvre de Gauss et celle de Riemann; et, si je ne suis tout-à-fait dans l'erreur, c'est encore par le développement de cet ordre d'idées que l'on pourra com-

prendre, comment Gauss, sans quitter ce champ favori, pouvait pénétrer dans la géométrie de Bolyai et de Lobatchewsky; car en effet, sa géométrie des surfaces, tant qu'elle ne puise rien dans la géométrie analytique ordinaire, est indépendante du postulat XI. Mais revenons à la question.

Quand on cherche à passer de l'expression différentielle de l'élement linéaire à l'équation ordinaire de la surface, les exigences et les accidents des figures de deux dimensions, considérées dans l'espace de trois, reparaissent. Ce passage, c'est à dire l'intégration des surfaces à courbure négative constante (pour le cas de la courbure positive c'est la même chose), n'a pas encore été faite que dans des cas très particuliers, que je sache. On ne connait, parmi les formes infinies (dont mon petit modèle me donne l'agréable spectacle), que la surface pseudosphérique peut prendre, que des surfaces de rotation et des hélicoïdes. Or ces formes spécielles ont un caractère commun, c'est de ne pouvoir servir au développement de la surface entière; il faut, pour les produire, couper la surface suivant une ou deux lignes. Elles ne peuvent donc même en supposant, pour les surfaces de rotation, que la surface absolue y soit enroulée un nombre infini de fois sur elle-même, réproduire l'infinité en tous sens de la surface absolue.

Je suis donc obligé de supposer que vous ayez la preuve, ou du moins la très-forte présomption, que quelque forme concrète que l'on puisse donner à la surface pseudosphérique, toujours celle-ci doive être coupée, pour pouvoir les prendre, soit pour empêcher le déchirement des parties, qui depassent certaines limites (comme pour les surfaces spécielles citées), soit pour empêcher la rencontre de deux nappes différentes. Si l'on fait abstraction de ces difficultés, qu'on pourrait appeler d'ordre pratique, il me semble, que la surface, logiquement considérée, soit infinie, à la même manière du plan. Je croirais la même chose pour

les espaces de courbure constante négative, sous les mêmes restrictions.

J'ai tenu à vous montrer que l'opposition, qui existe parmi vos resultats et les miens, ne m'a donné que le désir de connaître les considérations à l'aide desquelles le votre pouvait être établi. C'est le moindre des devoirs, qu'un éléve a à remplir vis à vis d'un maître."

Helmholtz erkannte sogleich sein Versehen, welches darauf beruhte, dass er wegen einer imaginären Constante einen Fall ausgeschlossen hatte, welcher einer reellen Deutung fähig war, und berichtigte schon wenige Tage später, am 30. April 1869, diesen Punkt in einer Mittheilung an den naturwissenschaftlichen Verein in Heidelberg.

Die philosophischen Consequenzen dieser Untersuchungen hatte Helmholtz, wie aus seinen Aufzeichnungen hervorgeht, schon damals gezogen, aber er hat dieselben erst im Zusammenhange entwickelt in seiner Rede über „die Thatsachen in der Wahrnehmung", welche er zur Stiftungsfeier der Friedrich Wilhelms-Universität zu Berlin im Jahre 1878 gehalten, und in der im „Mind" im April desselben Jahres veröffentlichten Note: „Ueber den Ursprung und Sinn der geometrischen Sätze; Antwort gegen Herrn Professor Land", welcher Helmholtz's Arbeit über die Axiome der Geometrie einer Kritik unterzogen hatte. Um den Zusammenhang mit den oben entwickelten Anschauungen zu wahren, möge der Inhalt dieser beiden Veröffentlichungen schon hier besprochen werden.

Die Grundprobleme der Erkenntnisstheorie „Was ist Wahrheit in unserem Anschauen und Denken? in welchem Sinne entsprechen unsere Vorstellungen der Wirklichkeit?" beschäftigten seit dem Anfange des neunzehnten Jahrhunderts Philosophie und Naturwissenschaften. Während die Philosophie alles aus den Einwirkungen der Körperwelt Stammende auszuscheiden und nur das zu behalten sucht, was der eigenen Thätigkeit des Geistes angehört, muss die

Naturwissenschaft, welche die Gesetze sucht für die Welt der Wirklichkeit, das absondern, was Definition, Bezeichnung, Vorstellungsform und Hypothese ist — beide vollziehen also dieselbe Scheidung, wenden jedoch verschiedenen Theilen ihr Interesse zu. Schon zur Zeit seiner ersten physiologisch-optischen Arbeiten hatte Helmholtz hervorgehoben, dass die Wahrnehmung von im Raume vertheilten Objecten das Anerkennen einer gesetzlichen Verbindung zwischen unseren Bewegungen und den dabei auftretenden Empfindungen einschliesst, und dass alles, was in der Anschauung zu dem rohen Material der Empfindungen hinzukommt, in Denken aufgelöst werden kann.

„Wenn „begreifen“ heisst Begriffe bilden, und wir im Begriffe einer Classe von Objecten zusammensuchen und zusammenfassen, was sie von gleichen Merkmalen an sich tragen, so ergiebt sich ganz analog, dass der Begriff einer in der Zeit wechselnden Reihe von Erscheinungen das zusammenzufassen suchen muss, wss in allen ihren Stadien gleich bleibt.“

„Suchet den ruhenden Pol in der Erscheinungen Flucht“ war noch bis an sein Ende das Lieblingscitat, wenn er in die Fülle ungeordneter physikalischer Erscheinungen, die jeder Erklärung zu spotten schienen, Ordnung und Gesetz zu bringen sich bemühte. Was ohne Abhängigkeit von anderem, unabhängig von der Zeit gleich bleibt, ist für ihn die Substanz; das gleichbleibende Verhältniss zwischen veränderlichen Grössen ist das sie verbindende Gesetz — dieses nehmen wir direct wahr, der Begriff jener kann nur durch erschöpfende Prüfung gewonnen werden, bleibt jedoch immer problematisch. Wir erkennen das Gesetzliche als ein unabhängig von unserem Vorstellen Bestehendes an, als Ursache, die wir dann als Kraft bezeichnen, wenn wir das Gesetz als unserm Willen gleichwerthig anerkennen, und dieses als etwas den Ablauf der Naturprocesse Zwingendes erscheint. Das Gesetz, welches das Vertrauen auf die vollkommene

Begreifbarkeit der Welt ausspricht, ist das Causalgesetz, ein a priori gegebenes, transcendentales Gesetz, für welches die Erfahrung einen Beweis nicht liefern kann. „Künstler und Forscher streben, wenn auch in verschiedener Behandlungsweise, dem Ziele zu, neue Gesetzlichkeit zu entdecken.“

Ein Blatt in seinem Nachlass giebt uns eine nur flüchtig hingeworfene, aber äusserst interessante Analyse des thatsächlich vorhandenen Wissens:

„a) Des Inhaltes: 1. Unmittelbare reine Perceptionen sind nur die Sinnesempfindungen. 2. Die Anschauungsbilder äusserer individueller Objecte sind Inbegriffe einer grossen Zahl verschiedener Anschauungen. 3. Der Begriff eines daseienden Dinges enthält die Zuversicht ausgesprochen, dass ich bei geeigneten Bedingungen der Beobachtung stets wieder dieselben Sinneseindrücke von dem Dinge empfangen werde. 4. Die daseienden Dinge verändern sich, aber wir suchen und finden Gesetze für diese Veränderungen, d. h. Begriffe für dieselben, die selbst unverändert bestehen bleiben, aber nur in Wirksamkeit, d. h. Erscheinung treten, so oft die gleichen Bedingungen ihrer Wirksamkeit wieder hergestellt sind. Dadurch unterscheiden sie sich vom Dasein der Substanzen, deren Erscheinungsweise nur vom Beobachter abhängig betrachtet wird, die der Naturgesetze von den Veränderungen im Daseienden. 5. Die Aufstellung eines Naturgesetzes enthält die Zuversicht, dass in allen künftigen entsprechenden Fällen die Erscheinungen sich dem Gesetze fügen werden. Ein vollständiges Gesetz, welches die Bedingungen und die Grösse des Erfolges vollständig und genau angiebt, ist für unser Wissen der genügende Grund, sicher auf den Erfolg zu schliessen. Ebenso ist es dann objectiv anzusehen als Kraft, als der objectiv genügende Grund des Eintrittes. 6. Die naturwissenschaftlichen Hypothesen sind Versuche, Gesetze von einer weiter ausgedehnten Bedeutung zu finden, als die Beobachtungen unmittelbar erlauben.

Die empirisch nachweisbare Bedeutung des Wissens ..... Die Vorstellungen sind Zeichen, welche durch Bewegungen rückübersetzbar sind in die Wirklichkeit. Reell gleich ist nur das Zeitverhältniss. —

Die psychischen Processe, die der Entstehung des Wissens zu Grunde liegen ..... Der Urquell alles Wissens ist die Uebertragung des bisher Erfahrenen in das zukünftig zu Erfahrende. Deduction der Grundbegriffe, die aus der Natur des Begreifens und der vorausgesetzten Möglichkeit vollständiger Lösung dieser Aufgabe herfliessen."

Von diesen Anschauungen ausgehend sucht Helmholtz die Anknüpfung an Kant, welcher selbst schon die Qualitäten der Sinnesempfindungen als durch die Eigenthümlichkeiten unseres Anschauungsvermögens gegeben ansah — was erst die neuere Physiologie als unzweifelhaft hingestellt — aber zugleich auch Raum und Zeit in derselben Weise auffasste, da wir nichts in der Aussenwelt wahrnehmen können, ohne dass es zu einer bestimmten Zeit geschieht und an einen bestimmten Ort gesetzt wird. Auch hier stimmt Helmholtz noch unbedingt Kant zu, welcher die Zeit als die gegebene und nothwendige transcendentale Form der innern, den Raum als die entsprechende Form der äusseren Anschauung bezeichnet; er pflichtet ihm auch darin bei, dass die Raumanschauung eine subjective Anschauungsform ist, wie die übrigen Empfindungsqualitäten, da der Raum uns auch sinnlich mit den Qualitäten unserer Bewegungsempfindungen als das erscheint, durch welches wir uns bewegen und blicken können. Der Raum ist ihm ferner auch die nothwendige Form der äusseren Anschauung, weil eben das, was wir räumlich wahrnehmen, für uns die Aussenwelt ist, alles andere die Welt der inneren Anschauung oder des Selbstbewusstseins, und es ist ihm auch wie Kant der Raum eine gegebene, vor aller Erfahrung mitgebrachte Form der Anschauung, da seine Wahrnehmung an die Möglichkeit motori-

scher Willensimpulse geknüpft ist, für die uns die geistige und körperliche Fähigkeit durch unsere Organisation gegeben sein muss, ehe wir Raumanschauung haben können, — aber Kant ging weiter, indem er nicht nur annahm, dass die allgemeine Form der Raumanschauung gegeben sei, sondern dass dieselbe auch von vornherein und vor aller möglichen Erfahrung gewisse nähere Bestimmungen enthalte, nämlich die bekannten Axiome der Geometrie, dass diese also auch transcendentaler Natur seien.

Hier scheiden sich die Wege von Kant und Helmholtz, welcher die Frage, ob die Axiome der Geometrie transcendentale oder Erfahrungssätze sind, völlig trennt von der, ob der Raum überhaupt eine transcendentale Anschauungsform sei oder nicht.

„Kant's Lehre von den a priori gegebenen Formen der Anschauung ist ein sehr glücklicher und klarer Ausdruck der Sachverhältnisse, aber diese Formen müssen inhaltsleer und frei genug sein, um jeden Inhalt, der überhaupt in die betreffende Form der Wahrnehmung eintreten kann, aufzunehmen. Die Axiome der Geometrie aber beschränken die Anschauungsform des Raumes so, dass nicht mehr jeder denkbare Inhalt darin aufgenommen werden kann, wenn überhaupt Geometrie auf die wirkliche Welt anwendbar sein soll.“

Wenn die Axiome wirklich eine angeborene Anschauungsform des Raumes wären, so würden wir zu ihrer Anwendung auf die Erfahrungswelt erst berechtigt sein, wenn durch Beobachtung und Versuch constatirt wäre, dass die nach der vorausgesetzten transcendentalen Anschauung gleichwerthigen Raumtheile auch physisch gleichwerthig seien. Helmholtz weist nun die Annahme Kant's von der Apriorität der geometrischen Axiome als überflüssig und unrichtig nach. Gestützt auf seine vorher besprochenen Untersuchungen kann er zeigen, dass sich eine Geometrie auf Grund der einzigen Definition der physischen Gleich-

werthigkeit construiren lässt, nach welcher unter gleichen Umständen und zu gleicher Zeit gleiche physische Vorgänge oder Zustände ablaufen, wobei sich die Gleichwerthigkeit durch Messung mittelst eines Zirkels bewerkstelligen liesse; es würde sich daraus eine Geometrie ergeben, deren Sätze sich freilich mit unseren Axiomen decken würden, welche aber lediglich auf Erfahrungsthatsachen gegründet ist, so dass wir die a priorischen Axiome gar nicht brauchen. Aber es ist auch die Annahme von Kant, dass räumliche Verhältnisse, welche den Axiomen von Euclid widersprächen, gar nicht vorstellbar seien, nach den früheren Untersuchungen unrichtig, wie denn Helmholtz überhaupt die ganze Auffassung der Anschauung von Kant, als eines einfachen, nicht weiter aufzulösenden psychischen Vorganges, durch den Entwickelungszustand der Sinnesphysiologie beeinflusst ansieht.

„Wenn man die Reihe der Sinneseindrücke, welche nach den bekannten Gesetzen derselben von einer nie gesehenen Sache zu Stande kommen müssten, vollständig und eindeutig angeben kann, muss man meines Erachtens die Sache für anschaulich vorstellbar erklären; da dieselbe der Voraussetzung nach noch nie beobachtet sein soll, kann keine frühere Erfahrung uns zu Hülfe kommen und bei der Auffindung der zu fordernden Reihe von Eindrücken unsere Phantasie leiten, sondern es kann dies nur durch den Begriff des vorzustellenden Objectes oder Verhältnisses geschehen. Der Begriff von Raumgebilden, die der gewöhnlichen Anschauung nicht entsprechen sollen, kann nur durch die rechnende analytische Geometrie sicher entwickelt werden."

Den Schluss seiner geistvollen Rede über die Thatsachen der Wahrnehmung bildet wiederum die Gegenüberstellung der nativistischen und empiristischen Theorie. Er versucht den Nachweis zu führen, dass die nativistischen Hypothesen nichts erklären, und dass ihre Annahmen, fertige

Vorstellungen von Objecten würden durch den organischen Mechanismus hervorgebracht, viel bedenklicher seien als die Annahmen der empiristischen Theorie, nach welcher nur das unverstandene Material von Empfindungen von den äusseren Einwirkungen herrühre, alle Vorstellungen aber daraus nach den Gesetzen des Denkens gebildet werden. Er hält die nativistischen Annahmen aber auch für unnöthig, und ist der Ansicht, dass für die Einrichtungen, welche diese voraussetzen, höchstens ein gewisser pädagogischer Werth in Anspruch genommen werden kann, welcher das Auffinden der ersten gesetzmässigen Verhältnisse erleichtert.

Die mathematisch-philosophischen Untersuchungen, welche Helmholtz in seinen Arbeiten über die Axiome der Geometrie niedergelegt, hatten ihn wiederum sehr ermüdet; er schreibt am 28. März 1869 an Ludwig:

„Ich bin im Augenblick wieder bei elektrischen Studien über den zeitlichen Verlauf und die Ausbreitung von Entladungen, wozu mich physiologische Versuche und Fragen anregten. Die physiologische Optik und Psychologie habe ich absichtlich jetzt eine Weile liegen lassen. Ich fand, dass das viele Philosophiren zuletzt eine gewisse Demoralisation herbeiführt und die Gedanken lax und vage macht, ich will sie erst wieder eine Weile durch das Experiment und durch Mathematik discipliniren und dann wohl später wieder an die Theorie der Wahrnehmung gehen. Es ist auch gut, inzwischen zu hören, was die Anderen dazu sagen, was sie einzuwenden haben, was sie missverstehen u. s. w., und ob sie sich überhaupt für diese Fragen schon interessiren. Bisher ist mein Anhang in diesen Sachen noch klein, aber es gehören gute Leute dazu."

Die Verbreitung seiner philosophischen Anschauungen ging in der That selbst nach seiner akademischen Rede im Jahre 1878, welche durch Tiefe der Gedanken und Eleganz der Form als Muster dasteht für die Behandlung philosophischer

Probleme, nur allmählich und langsam vorwärts. Am 2. März 1881 schreibt er an Lipschitz:

„Ich habe mit Interesse gesehen, dass Sie auch auf meine Ideengänge in der Erkenntnisstheorie gefallen sind. Das ist mir lieb und macht mir Muth, obgleich ich die Hoffnung gänzlich aufgegeben habe, eine Reformation der Philosophie selbst noch zu erleben. In meinen Gedanken schimpfe ich wie Schopenhauer auf die Philosophen von Fach; aber ich will es nicht zu Papier bringen. Jeder liest nur sich selbst und ist unfähig, sich in die Gedanken Anderer hineinzudenken. Wenn ich aber sehe, dass die Mathematiker und Physiker allmählich in meine Wege einlenken, so habe ich wenigstens Hoffnung für die Zukunft. Dass ich bei den Fachleuten, die ihr Leben lang entgegengesetzte Meinungen gepredigt haben, auf hartnäckigen Widerstand stossen würde, habe ich natürlich erwartet, aber dass sie trotz aller Mühe, die ich mir gegeben habe, immer von anderen Seiten meine Meinung auseinanderzusetzen, nur die abenteuerlichsten Missverständnisse herauslesen würden, darauf war ich nicht gefasst. Dagegen weiss ich nicht zu helfen, und dann empört mich immer, so oft ich mir auch vorgenommen habe, mich nicht empören zu lassen, die Unverfrorenheit, mit der Leute, die nicht den kleinsten geometrischen Satz zu fassen vermögen, in der sicheren Ueberzeugung überlegener Weisheit über die schwierigsten Probleme der Raumtheorie absprechen. Schliesslich aber wäre es für die Sache doch nützlich, wenn Sie Ihre Ueberlegungen einmal ausarbeiteten und veröffentlichten. Es hat doch mehr Gewicht, wenn sich allmählich herausstellt, dass die Leute, welche mathematische Fragen tief studirt haben, als Klasse so urtheilen müssen. Der Einzelne, wenn auch ein Riemann, wird immer als ein schrullenhafter Querkopf behandelt, der in einem fremden Gebiete dilettirt. Freude dürfen Sie Sich dann wenig versprechen, aber man muss doch dafür sorgen, dass die Gemeinde der Einsichtigen

allmählich wächst. Schliesslich ist der falsche Rationalismus und die theoretisirende Speculation doch der schwerste Mangel unserer deutschen Bildung nach allen Richtungen hin.“

Helmholtz empfand immer dringender das Bedürfniss, seinen Kopf von den philosophischen Speculationen zu befreien, und um nicht sogleich an die Weiterführung der mathematisch-physikalischen Arbeiten zu gehen, welche ihn schon seit längerer Zeit beschäftigten, wandte er sich der Ergänzung früher angestellter physiologischer und elektrischer Untersuchungen zu, die ihn zwangen, sich zunächst wieder ganz experimentellen Arbeiten zu widmen.

Bei seinen Versuchen über die Fortpflanzung der Reizung in den Nerven war Helmholtz auf die auch schon von Anderen bemerkte geringe Wirksamkeit geführt worden, welche elektrische Inductionsschläge auf die tiefer gelegenen Nerven des menschlichen Körpers ausüben, während es leicht ist, selbst tiefliegende Nerven durch die constanten Ströme einer Batterie von zehn bis zwanzig Platinzinkelementen zur Erregung von Zuckungen zu veranlassen. Er besprach in einem im naturhistorisch-medicinischen Verein in Heidelberg am 12. Februar 1869 gehaltenen Vortrage „Ueber die physiologische Wirkung kurz dauernder elektrischer Schläge im Innern von ausgedehnten leitenden Massen“ die Versuche, welche er zunächst zur Feststellung dieser Thatsachen am Froschschenkel angestellt hatte, und die in der That die Richtigkeit jener Beobachtungen erwiesen. Aber die Erklärung dieser Erscheinungen, welche er auf die Untersuchung über die Ausbreitung elektrischer Entladungen in ausgedehnten leitenden Massen zurückführte, erforderte eine genaue Kenntniss der Oscillationsdauer der Ströme in einer Inductionsspirale, welche an ihren Enden mit den Belegen einer Leydener Flasche verbunden ist. In einem am 30. April 1869 in demselben Vereine gehaltenen Vortrage „Ueber elektrische Oscillationen“

legt nun Helmholtz die Resultate seiner darauf bezüglichen Versuche vor, in welchen als Reagenz zur Wahrnehmung der elektrischen Bewegungen ein stromprüfender Froschnerv angewandt wurde, und bei welchen die elektrischen Oscillationen zwischen den Belegen der Leydener Flasche in einem vollständigen, nirgends unterbrochenen Bogen vor sich gingen, der keine Funkenstrecke enthielt. Die Enden der inducirten Spirale eines du Bois'schen Schlittenapparates waren mit den Belegen einer Leydener Flasche verbunden, so dass die Unterbrechung des primären Stromes zunächst in der secundären Spirale einen gleichgerichteten Strom inducirte, welcher die Belege der Batterie lud, die sich dann in oscillirender Weise durch dieselbe Spirale entlud. Die metallische Leitung des inducirten Stromes konnte an einer Stelle unterbrochen werden, und es trat eine Nebenleitung in Function, welche den Nerven des stromprüfenden Schenkels enthielt. Der Rest des Stromes entlud sich dann durch den Nerven und erregte Zuckungen, und zwar war die Wirkung des Stromes am stärksten, wenn die Unterbrechung zu einer Zeit geschah, zu welcher die Belege der Batterie gar nicht geladen waren, und es wurde die physiologische Wirkung schwächer, wenn die Belege der Batterie das Maximum ihrer Ladung erreicht hatten. Die Intensitäten der physiologischen Wirkung wurden nun dadurch mit einander verglichen, dass bei verschiedenen Werthen der Zeitdauer zwischen den beiden durch das Pendel des Myographions ausgeführten Stromunterbrechungen jedesmal diejenige Stellung der verschiebbaren inducirten Spirale gesucht wurde, wo sie eine noch eben sichtbare Muskelzuckung gab. Man konnte dann, wenn das Pendel zur Zeit eines Stromesmaximums in der Spirale die Nebenleitung zum Nerven unterbrach, die inducirte Spirale weit von der inducirenden entfernen, zur Zeit eines Stromesminimums dagegen mussten die Spiralen einander genähert werden. Die Verbindung mit einem zeitmessenden Apparate zeigte, dass bei Anwendung von einem

Grove'schen Elemente für den primären Strom die Gesammtdauer der wahrnehmbaren elektrischen Oscillationen in der mit einer Leydener Flasche verbundenen Spirale etwa $^1/_{50}$ Secunde betrug. Die Kenntniss der Oscillationsdauer liefert aber erst die Möglichkeit für die zum Beweise der eben erwähnten Thatsachen anzustellenden exacten Versuche.

Auf der Naturforscherversammlung in Innsbruck, wohin er sich mit seiner Frau begab, nachdem er mit seinem Bruder Otto einige Wochen auf Rigi-Scheideck und dann in Engelberg zugebracht hatte, behandelte Helmholtz in der Sectionssitzung im September 1869 denselben Gegenstand, und die Resultate dieser Untersuchungen wurden dadurch sehr bald in weiteren Kreisen bekannt. Blaserna liess mir vor kurzem die folgenden darauf bezüglichen interessanten Mittheilungen zukommen:

„Im Jahre 1870, in einer Untersuchung über den veränderlichen Zustand des elektrischen Stromes, fand ich, dass im Momente der Schliessung die Intensität des Stromes von Null rasch steigt bis zu einem Maximum, welches nicht ganz den doppelten Werth der constanten Stromstärke erreicht, dann zu einem Minimum herabsinkt, das etwas grösser als Null ist, dann eine zweite, dritte u. s. w. Oscillation ausführt, die immer weniger prononcirt sind und sich alle um den gemeinsamen Mittelwerth lagern, der die constante Stromstärke bedeutet. Dieses Resultat stimmte nicht mit einem von Helmholtz auf theoretischem Wege abgeleiteten zusammen, welches auch durch einige Messungen bestätigt worden war. Doch gelang es mir nachzuweisen, dass in Helmholtz's Messungen auch mein Resultat mit inbegriffen war; nur waren die Messungen in zu geringer Anzahl, um aus ihnen einen so complicirten Vorgang, wie den von mir gefundenen, ableiten zu können."

In der zur Eröffnung der Naturforscherversammlung in Innsbruck gehaltenen Rede „Ueber das Ziel und die

Fortschritte der Naturwissenschaft“ stellt sich Helmholtz die Aufgabe, Rechenschaft zu geben „über die Fortschritte des grossen Ganzen der Naturwissenschaften, über die Ziele, denen es nachstrebt, über die Grösse der Schritte, um die es sich diesem Ziele genähert hat“. Er hebt hervor, dass gerade in der Physiologie sich die Wichtigkeit der grossen Fortschritte am fühlbarsten gemacht hat, und durch ihre Streitfragen einige der bedeutendsten veranlasst worden sind. Indem er das Gesetz als den allgemeinen Begriff hinstellt, unter den sich eine Reihe von gleichartig ablaufenden Naturvorgängen zusammenfassen lassen — „das Gesetz der Erscheinungen finden, heisst sie begreifen“ — fordert er Ausnahmslosigkeit seiner Geltung; die Erscheinung begreifen oder ihre Gesetze finden, heisst die Kräfte aufsuchen, welche die Ursachen der Erscheinungen sind. Und nun geht er die grossen Naturgesetze durch und gelangt zu dem Gesetz von der Unveränderlichkeit der Stoffe und zu dem Gesetze von der Erhaltung der Kraft.

„Als der, welcher zuerst den Begriff dieses Gesetzes rein und klar erfasst und seine absolute Allgemeinheit auszusprechen gewagt hat, ist derjenige zu nennen, den wir nachher von dieser Stelle zu hören die Freude haben werden, Dr. Robert Mayer von Heilbronn.“

Eine eingehende Besprechung des Princips von der Erhaltung der Kraft, die Anwendung desselben auf die anorganische und organische Natur, sowie eine Darlegung seiner physiologisch-psychologischen Anschauungen, wie wir sie oben kennen gelernt, bilden den weiteren Inhalt dieser formvollendeten und gedankentiefen Rede. Sie war, wie Pfaundler in seiner früher erwähnten Mittheilung hervorhob, in nur wenigen Nachtstunden unmittelbar vorher niedergeschrieben, obwohl seine Frau ihn noch in den letzten Tagen vorher von München aus ängstlich ermahnt:

„ . . . Was nun die Naturforscherversammlung betrifft,

lieber Hermann, so hast Du keinerlei Papiere, die sich darauf beziehen, mit hier. Die Leute sind hier so unendlich artig, schicken Karten etc. für Dich und mich und rechnen offenbar auf Deinen Vortrag als den Glanzpunkt ihrer Unternehmung, dass Du ihnen schon etwas recht Schönes geben musst. Die Idee, dass so viele hundert Leute alle enttäuscht weggehen, weil Du nicht die Zeit fandest, Deine Rede nach Thema und Form fertig zu machen, quält mich ganz entsetzlich. Ich verwünsche alles, was Dich abhält, an die Leute in Innsbruck ernsthaft zu denken, die Dir seit Monaten mit dieser Verehrung und Aufmerksamkeit entgegenkamen. Du musst mir nicht übelnehmen, lieber Mann, wenn ich mich in Deine speciellen Angelegenheiten mische, allein ich bin ehrgeizig für Dich, habe mich so gefreut auf die Fahrt nach Innsbruck und habe nun nichts als Angst, und bleibe lieber hier, seitdem ich weiss, dass Du noch nicht an ein Thema dachtest.“

Ganz vereinzelt in dem weiten Umkreis seiner Untersuchungen steht die einem Briefe an Binz entnommene Bemerkung „Ueber das Heufieber“, die im Jahre 1869 in Virchow's Archiv für pathologische Anatomie abgedruckt ist; in einem Anfall von Heufieber, woran Helmholtz zu leiden pflegte, wies er pathogene Algen auf seiner eigenen Nasenschleimhaut nach und bekämpfte sie mit Chinin erfolgreich zu einer Zeit, wo, wie du Bois hervorhebt, von Antisepsis noch kaum die Rede war.

Schon am Anfange des Jahres 1869 machte sich das Bedürfniss nach einer dritten Auflage seiner Tonempfindungen geltend, welche auch in der That bereits im folgenden Jahre und zwar diesmal in einer völlig umgearbeiteten Form erschien. Es wurden nicht nur die Abschnitte über Geschichte der Musik umgestaltet und in engeren Zusammenhang mit einander gebracht, sondern es fand auch auf Grund neuerer Forschungen die Beurtheilung der Leistungen der Corti'schen Bögen eine wesentliche Abänderung, und Helmholtz zog endlich

noch in die Bearbeitung seine eigenen inzwischen veröffentlichten Untersuchungen hinein, welche die Gelenkverbindung zwischen Hammer und Amboss als Ursache dafür ergeben hatten, dass im Ohre selbst zu stärkeren einfachen Tönen leicht harmonische Obertöne entstehen. Es führte aber die Herstellung der neuen Auflage auch noch zu einigen wichtigen ergänzenden Untersuchungen, aus denen er als seine letzte physiologische Arbeit am 25. Juni 1869 dem naturhistorisch-medicinischen Verein in Heidelberg die „Ueber die Schallschwingungen in der Schnecke des Ohres“ betitelte vorlegte.

Es war von Hensen die Hypothese aufgestellt worden, dass die Abstimmung der schwingenden Theile, an denen die Nervenfasern enden, wesentlich abhängig ist von der verschiedenen Stimmung der betreffenden Theile des fest ausgespannten Blattes der membranösen Scheidewand, der Membrana basilaris, welche sehr auffallende Unterschiede der Breite in den verschiedenen Abtheilungen der Schnecke zeigt. Danach würden die tieferen Töne in den oberen Theilen der Membrana basilaris gegen das Schneckengewölbe hin, die höheren in den unteren gegen das runde Fenster hin resoniren. Um nun zu sehen, ob eine hinreichende Begrenzung und Isolirung der schwingenden Theile auf einer solchen Membran möglich ist, so dass die Erregung durch Schwingungen von bestimmter Höhe auf ein hinreichend enges Gebiet von Nervenfasern beschränkt bleibe, stellt sich Helmholtz das durch die Fasernbeschaffenheit der Membrana basilaris nahegelegte mechanische Problem: die Bewegung einer Membran zu untersuchen, welche zwischen den Schenkeln eines Winkels so ausgespannt ist, dass ihre Spannung in der Richtung der Halbirungslinie dieses Winkels am kleinsten, senkrecht dagegen am grössten ist, die ferner durch eine periodische Kraft, welche gegen ihre ganze Fläche wirkt, erschüttert wird, und deren Bewegung gleichzeitig durch Reibung eine geringe Dämpfung

erleidet. Indem er mit Berücksichtigung der Grenzbedingungen die Differentialgleichung der Bewegung für die Entfernung eines schwingenden Membranpunktes von seiner Gleichgewichtslage in der Ebene integrirt, findet er, dass, wenn die kleinere Spannung in Richtung der Halbirungslinie des Winkels verschwindend klein wird, die Membran dieselben Bewegungen ausführt, als wenn sie aus einem System unabhängig von einander beweglicher Saiten bestände, welche alle senkrecht zur Halbirungslinie zwischen den Schenkeln des Winkels und mit gleicher Spannung ausgespannt wären. In einem solchen System schwingen diejenigen Saiten stark mit, deren Eigenton der Tonhöhe des erregenden Tones entspricht, ihre Nachbarn etwas schwächer, die weiter entfernten Saiten machen nur unendlich kleine Schwingungen, während die Breite der schwingenden Portionen von dem Grade der Dämpfung abhängt. Für eine solche Beschaffenheit der Membrana basilaris genügt also die von Hensen aufgestellte Hypothese allen Anforderungen.

Helmholtz wendet sich nun seinen gross angelegten elektrodynamischen Untersuchungen zu. Wenn auch seine Hauptarbeiten auf diesem Gebiete erst in eine etwas spätere Zeit fallen, so hatte er doch bereits in Heidelberg diese Untersuchungen begonnen, von denen er am 21. Januar 1870 dem naturhistorisch-medicinischen Verein einen Theil unter dem Titel „Ueber die Gesetze der inconstanten elektrischen Ströme in körperlich ausgedehnten Leitern“ vorlegte, welche dann noch in demselben Jahre unter dem Titel „Ueber die Theorie der Elektrodynamik. Erste Abhandlung. Ueber die Bewegungsgleichungen der Elektricität für ruhende leitende Körper“ im Journal für reine und angewandte Mathematik in ausführlicher Darlegung erschienen. Sie bilden eine Vorarbeit zur Orientirung auf dem elektrodynamischen Gebiete.

Die Gesetze der Elektrodynamik waren in Deutschland von der Mehrzahl der Physiker aus der Hypothese von

W. Weber hergeleitet, welche die magnetischen und elektrischen Erscheinungen auf eine Modification der von Newton für die Gravitationskraft und von Coulomb für die statische Elektricität gemachten Annahme von geradlinig in die Ferne wirkenden Kräften zurückzuführen suchte, deren Ausbreitung durch den unendlichen Raum als augenblicklich mit unendlicher Geschwindigkeit erfolgend vorausgesetzt wurde. Die Annahme Coulomb's, dass die Intensität der Kräfte dem Quadrate des Abstandes der auf einander wirkenden elektrischen Quanta umgekehrt, dem Product der beiden Quanta direct proportional ist, und zwar mit abstossender Wirkung zwischen gleichnamigen, mit anziehender zwischen ungleichnamigen Mengen, wurde von Weber durch die Voraussetzung ergänzt, dass auch die Geschwindigkeit, mit der sich die beiden elektrischen Quanta einander näherten oder von einander entfernten sowie die Beschleunigungen einen Einfluss auf die Grösse der Kraft zwischen den beiden elektrischen Mengen haben sollten. Diese Annahme von Kräften, welche nicht bloss von der Lage, sondern auch von der Bewegung der wirkenden Punkte abhängig sind, schien den Behauptungen von Helmholtz zu widerstreiten, welcher in seinen Untersuchungen über die Erhaltung der Kraft zu der Ansicht geführt worden, dass Kräfte, die von der Entfernung und den Geschwindigkeiten abhängen, das allgemeine Naturgesetz von der Erhaltung der Energie verletzen, welches sich auch in den elektrodynamischen Erscheinungen durchaus bestätigt hatte. Freilich hatte aber Helmholtz den complicirteren Fall des Weber'schen Gesetzes, in welchem die Kräfte auch noch von den Beschleunigungen abhängen, damals nicht berücksichtigt, und es liess sich in der That zeigen, dass das Weber'sche Gesetz keinen Kreisprocess zulässt, der Arbeit aus Nichts erzeugt.

Neben dieser Weber'schen Hypothese bestand noch eine Reihe ähnlicher anderer, die alle das Gemeinsame hatten, dass sie die Grösse der Coulomb'schen Kraft noch

durch den Einfluss irgend einer Componente der Geschwindigkeit der bewegten elektrischen Quanta modificirt ansahen. Solche Hypothesen waren von F. E. Neumann, von dessen Sohn C. Neumann und anderen Physikern aufgestellt worden, aber beobachtete Thatsachen und Folgerungen aus nicht sicher begründeten Theorien liefen ohne feste Grenze durch einander. So unternahm es Helmholtz, das Gebiet der Elektrodynamik zu klären und vor allem die unterscheidenden Folgerungen der verschiedenen Theorien aufzusuchen, um durch passend angestellte Versuche — wenn möglich — zwischen ihnen zu entscheiden. Es ergab sich zunächst das Resultat, dass alle Erscheinungen, welche vollkommen geschlossene Ströme bei ihrer Circulation durch in sich zurücklaufende metallische Leitungskreise hervorrufen, in denen es, während sie fliessen, zu keiner erheblichen Veränderung der in einzelnen Theilen des Leiters angesammelten elektrischen Ladungen kommt, aus den verschiedenen Hypothesen gleich gut sich ableiten lassen. Ihre Folgerungen stimmten sowohl mit den Ampère'schen Gesetzen der elektromagnetischen Wirkungen wie mit den von Faraday entdeckten und von F. E. Neumann verallgemeinerten Sätzen überein. In unvollständig geschlossenen leitenden Kreisen führten diese Hypothesen jedoch zu wesentlich verschiedenen Folgerungen, da sich an offenen Enden ungeschlossener Leiter vermöge der Einschiebung isolirender Massen durch jede elektrische Bewegung längs des Leiters sogleich elektrische Ladungen ansammeln, welche von der gegen das Ende des Leiters hindrängenden Elektricität herrühren, die ihren Weg durch den Isolator nicht fortsetzen kann.

Da sich aber auch die von W. Weber zu Hülfe genommene Hypothese, dass die Elektricität einen gewissen Grad von Beharrungsvermögen habe, wie es den schweren Körpern zukomme, als unhaltbar erwies, weil das scheinbare Beharrungsvermögen von der Induction herrührte, so suchte Helmholtz zunächst all' die aufgestellten Gesetze in einem einzigen zu

vereinigen, welches eine noch näher zu bestimmende Constante enthielt, um daraus auf theoretischem Wege alle Folgerungen zu ziehen, welche dann durch Versuche zu prüfen wären.

Das von F. E. Neumann aufgestellte und aus dem von Ampère für die Anziehungskraft zweier Stromelemente hergeleitete Potential der Stromelemente zweier linearer Leiter auf einander war dem Producte der Länge der Elemente, dem Cosinus des Winkels beider, dem Producte der Stromintensitäten in beiden direct und der Entfernung derselben indirect proportional mit einem Proportionalitätsfactor, welcher das negative Quadrat der reciproken Lichtgeschwindigkeit ist; die Richtigkeit dieses Potentialausdruckes war an geschlossenen Strömen geprüft und bestätigt worden. Helmholtz sucht nun die allgemeinste Form des Ausdruckes für das Potential der einzelnen Stromelemente zu finden, welche in all' den Fällen, wo einer der Ströme geschlossen ist, den gleichen Werth wie die Neumann'sche Formel ergiebt, und findet diese Form ausgedrückt durch das Product der beiden unendlich kleinen Elemente und den zweiten nach den Elementen genommenen partiellen Differentialquotienten einer Function der Entfernung dieser Elemente und der Stromintensitäten. Er unterwirft nun diese Function noch der Bedingung, dass sie den Stromintensitäten proportional und der Entfernung umgekehrt proportional sein soll, und erhält für das Potential eine von dem Neumann'schen Ausdruck dadurch verschiedene Form, dass statt des Cosinus des Winkels beider Elemente ein Ausdruck eintritt, welcher in diesem Cosinus und in dem Producte der Cosinus der Winkel, welchen die Elemente mit ihrer Entfernung von einander bilden, linear ist und noch eine neue Constante k enthält. Dieser Ausdruck umfasst auch die aus den Theorien von W. Weber und Maxwell hervorgegangenen abweichenden Potentialausdrücke für je zwei Stromelemente. Aus dem Potential-

ausdruck der beiden Elemente auf einander lassen sich nun nach einer bekannten Methode von Kirchhoff die Werthe des elektrodynamischen Potentials für continuirlich im Raum verbreitete Strömungen entwickeln, und es wird mit Hülfe des Green'schen Satzes gezeigt, dass die Werthe des elektrodynamischen Potentials, welches die sämmtlichen vorhandenen Ströme in Bezug auf die drei Stromcomponenten in einem Volumenelemente hervorbringen, überall stetig sind mit Ausnahme solcher Punkte, wo die elektrische Strömung unendlich wird.

Mit Hülfe dieser Potentialausdrücke ergeben sich die Bewegungsgleichungen der Elektricität, welche auf eine Analogie zwischen den Bewegungen der Elektricität in einem Leiter und denen eines Gases führen, und Helmholtz untersucht nun die Natur dieser Differentialgleichungen und den durch sie bestimmten Verlauf der Bewegung der Elektricität in Rücksicht auf den Werth der oben in das Potentialgesetz von ihm eingeführten Constanten, welche in dem F. E. Neumann'schen Gesetze den Werth 1, in dem Maxwell'schen — unter einer bestimmten Voraussetzung — den Werth 0, in dem W. Weber'schen und C. Neumann'schen den Werth —1 hat. Er findet, dass, wenn k Null oder positiv ist, die Differentialgleichungen bei gegebenen Potentialwerthen am Anfange die Elektricitätsbewegung eindeutig bestimmen, und dass das Arbeitsäquivalent der elektrischen Bewegung positiv ist; für einen negativen Werth von k wird dasselbe negativ, also kleiner als im Ruhezustand werden können, daher das Gleichgewicht der ruhenden Elektricität in leitenden Körpern für negative Werthe von k labil sein. Helmholtz wies zugleich nach, dass, wenn jene Arbeitsgrösse erst einmal negativ geworden ist, dann die Bewegung, sich selbst überlassen, fortdauernd anschwillt und zu unendlichen Geschwindigkeiten und Dichtigkeiten der Elektricität führt. Nun können aber solche nach der labilen Seite des elektrischen Gleichgewichtes hin ausschlagende Bewegungen und

unendlich fortschreitende Störungen des elektrischen Gleichgewichtes auch wirklich bei den uns zu Gebote stehenden Methoden, elektrische Bewegungen hervorzurufen, zu Stande kommen, wenn k einen negativen Werth hat — was im Allgemeinen stets geschieht, so oft elektrische Bewegungen in einer homogenen leitenden Kugel dadurch hervorgerufen werden, dass man ihr einen elektrischen Körper nähert und ihn dann wieder entfernt — und er gelangt daher zu dem Ergebniss, dass die Annahme eines negativen Werthes für die Constante k, wie sie im Weber'scheu Inductionsgesetz gemacht wird, unzulässig ist.

Nun untersucht Helmholtz den Einfluss der Constanten k bei ausführbaren Versuchen und findet, dass, wenn $k = 1$ oder nicht unverhältnissmässig viel grösser als 1 ist, im Allgemeinen bei Versuchen an irdischen Leitern die Bewegungen der Elektricität nicht merklich anders ausfallen, als wenn $k = 0$ wäre. Man wird also die analytische Behandlung der Aufgaben über Elektricitätsbewegung, wenn k keine sehr grosse Zahl ist, dadurch vereinfachen dürfen, dass man $k = 0$ setzt, oder die Fortpflanzung der Longitudinalwellen unendlich gross annimmt, so oft die Dimensionen der gebrauchten Leiter verschwindend klein sind gegen die Wellenlängen der zur Wahrnehmung kommenden elektrischen Oscillationen. Es wird somit bei denjenigen elektrischen Bewegungen, welche im Innern eines Leiters nach vorausgegangenem elektrischem Gleichgewicht durch äussere Kräfte hervorgerufen werden können, freie Elektricität, bei der Annahme $k = 0$, nur immer an der Oberfläche der Leiter oder an der Grenzfläche verschiedener Leiter vorkommen können. Auch die Untersuchung eines sehr langen Drahtes als Leiter, gegen dessen Durchmesser die Wellenlänge sehr gross ist, zeigt einen Einfluss der Constanten k erst auf die kleinen Glieder höherer Ordnung. Helmholtz schliesst daraus, dass wir bei den elektrischen Versuchen im Laboratorium die von der

Constanten k abhängige Geschwindigkeit der elektrischen Longitudinalwellen nicht zu berücksichtigen haben, wenn wir nicht Mittel anwenden, ganz ungewöhnlich feine Zeitunterschiede wahrnehmbar zu machen.

Nachdem er diese eingehenden Untersuchungen streng und ohne sich für eine bestimmte Hypothese zu entscheiden, durchgeführt, indem er die elektrostatischen und elektrodynamischen Wirkungen als Fernwirkungen behandelte, welche die zwischenliegenden isolirenden Medien nicht afficiren und nicht von ihnen afficirt werden, geht er auf die Faraday-Maxwell'sche Theorie ein, welche die Fernwirkung durch die Polarisation des Mediums ersetzt und elektrische Störungen in isolirenden Diëlektricis sich in Transversalwellen verbreiten lässt, für deren Fortpflanzungsgeschwindigkeit sich im Luftraume die Lichtgeschwindigkeit ergiebt.

Faraday wies, wie es auch Newton zuerst gethan, die Hypothese von der Existenz der Fernkräfte überhaupt zurück, nach welcher directe und unmittelbare Wirkungen zwischen zwei räumlich getrennten Körpern bestehen sollen, ohne dass in den zwischenliegenden Medien irgend eine Veränderung vor sich gehe. Er fand, dass Magnetismus oder Diamagnetismus bei fast allen bisher für unmagnetisch gehaltenen Körpern existire, und ebenso unter der Einwirkung elektrischer Körper gut isolirende Körper eine Veränderung erlitten, welche er die elektrische Polarisation der Isolatoren nannte, und hierauf gestützt, suchte er die magnetische und elektrische Fernwirkung, als durch Vermittelung der zwischenliegenden polarisirten Medien hervorgerufen, zu erklären. „Seine in schwer verständlicher abstracter Sprache vorgetragenen Ideen brachen sich nur langsam Bahn, bis sie in Clerk Maxwell einen berufenen Interpreten fanden.“ Ungeschlossene Ströme gab es nach dieser Hypothese nicht mehr, da die Anhäufung elektrischer Ladungen an den Enden der Leitung und die dabei in den sie trennenden

Isolatoren auftretende diëlektrische Polarisation eine äquivalente elektrische Bewegung in den zwischenliegenden Isolatoren darstellt, und gerade darin erkannte Helmholtz sehr bald das Zwingende in den von Faraday entwickelten Anschauungen.

Er stellt sich „bei der hervorragenden Bedeutung, welche dieses Resultat für die weitere Entwickelung der Physik haben könnte, und weil die Frage über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der elektrischen Wirkungen in neuerer Zeit mehrfach angeregt worden ist", die Aufgabe, zu untersuchen, was das von ihm verallgemeinerte Inductionsgesetz für den Fall ergebe, dass magnetisirbare und diëlektrisch polarisirbare Medien vorhanden sind. Die Discussion der mit Berücksichtigung der diëlektrischen Polarisation transformirten Bewegungsgleichungen der Elektricität führte ihn, ohne die besondere Form der Maxwell'schen Hypothese zu Grunde zu legen, mit Beibehaltung der Annahme von der elektrischen Fernwirkung, ebenfalls zu dem von Maxwell gefundenen Resultate, dass für eine sehr grosse Polarisationsfähigkeit die Geschwindigkeit der transversalen Wellen gleich der Lichtgeschwindigkeit, dagegen für eine sehr kleine unendlich gross ist. Die Geschwindigkeit der longitudinalen Wellen im Luftraume ergiebt sich jedoch der der transversalen direct und der Quadratwurzel aus der Constanten k indirect proportional, so dass für $k = 0$ sich die in der Maxwell'schen Theorie gemachte Voraussetzung bewahrheitet, dass die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der longitudinalen elektrischen Wellen unendlich ist, also longitudinale Wellen gar nicht zu Stande kommen. Ebenso stimmen die weiteren Folgerungen über die Geschwindigkeiten der transversalen und elektrischen longitudinalen Wellen in anderen Isolatoren mit der von Maxwell entwickelten Theorie überein.

In dieser ersten Abhandlung über Elektrodynamik hat Helmholtz somit sein Ziel, zunächst nur eine Sichtung und

Klärung der bisher gewonnenen Anschauungen und angewandten Methoden zu geben, vollständig erreicht.

Der Beginn des Jahres 1870 brachte Helmholtz die grosse Auszeichnung, dass er zusammen mit Kirchhoff zum auswärtigen Mitgliede der Berliner Akademie ernannt wurde; zu gleicher Zeit trat aber auch ein Ereigniss an der Berliner Universität ein, welches die bedeutsamste Wendung in seinem Leben zur Folge hatte.

Am 4. April 1870 meldet ihm du Bois den Tod von Magnus und fügt hinzu:

„Ich möchte mich zerfleischen, dass ich damals, als es sich um Bonn handelte, nicht zum Minister ging und ihn bat, mir zu gestatten, die Verhandlung für Preussen mit Dir zu führen. Wärest Du jetzt bereits als Physiker in Bonn, so wäre die Sache der Berufung nach Berlin auf Magnus' Stelle weit leichter . . .“

Am 7. April antwortet ihm Helmholtz:

„. . . Ich mache mir auf eine Berufung nach Berlin nicht viel Rechnung, namentlich weil ich meine, dass eine Berufung Kirchhoff's Euch viel näher liegt und viel leichter auszuführen ist. Mit seiner Gesundheit geht es jetzt gut vorwärts, er ist jetzt frisch und heiter und braucht kaum noch die Krücken auf unebenem Boden. Ihr braucht in Berlin vor Allem einen mathematischen Physiker, und da muss ich mir sagen, ist Kirchhoff eine bewährte und geschulte Kraft in diesem Felde, was ich nicht bin, eine so gute Meinung ich auch übrigens von meinen eigenen Verdiensten mir zurecht gemacht haben mag. Ich werde zufrieden sein, hier sein Nachfolger zu werden.“

In der That stand Helmholtz zuerst der Eventualität, nach Berlin berufen zu werden, ziemlich kühl gegenüber. Während seine Frau mit klarem Blicke und ihrer geistigen Kraft sich wohl bewusst sehr bald erkannte, dass das rege wissenschaftliche und künstlerische Leben in Berlin dem Wirken ihres Mannes und der Entfaltung ihrer eigenen

Talente einen ganz anderen Boden bieten würde, als es in Heidelberg naturgemäss der Fall sein konnte, handelte es sich für Helmholtz doch immer nur darum, sich in seiner Thätigkeit, im Lehren und Forschen, ganz der Physik widmen zu können. Auf den Glückwunsch von Borchardt zu seiner und Kirchhoff's Ernennung zu auswärtigen Mitgliedern der Akademie antwortet er diesem am 7. Mai 1870:

„. . . Wenn das Schicksal es so fügen sollte, dass einer von uns nicht sehr lange auswärtiges Mitglied bleiben sollte, werde ich mich sehr freuen, weil mir dies die Gelegenheit gäbe, ganz zur Physik überzugehen. Zwischen der Physik in Berlin und der Physik in Heidelberg ist aber die Wage der Wünsche so nahe äquilibrirt, dass ich zwischen ihren Schwankungen den Gleichgewichtszustand noch nicht erkennen und in Ruhe die Entscheidung der Götter und Herrn von Mühler's erwarten kann; und ich glaube, dass Kirchhoff sich ziemlich in demselben Zustande befindet."

Inzwischen ging die Möglichkeit einer Berufung von Helmholtz nach Berlin bereits durch die Zeitungen, und schon daraufhin wendet sich Minister Jolly am 1. Mai an ihn und bittet ihn, überzeugt zu sein, dass er nichts, was in seinen Kräften steht, versäumen werde, um ihm den Aufenthalt in Heidelberg zu einem dauernd anziehenden und seinen Wünschen möglichst entsprechenden zu machen.

Die philosophische Facultät der Berliner Universität schlug in einem Schreiben an den Minister Kirchhoff und Helmholtz vor und motivirte sachlich und treffend die Vorschläge:

„Wenn Helmholtz der genialere und umfassendere Forscher ist, so ist Kirchhoff der geschultere Physiker und der bewährtere Lehrer; während Helmholtz immer productiv, mit immer neuen Problemen innerlich beschäftigt ist, hat Kirchhoff mehr Lust und Liebe zum Lehren, seine Vorträge sind durch musterhafte Klarheit und Abrundung ausgezeichnet; er ist auch, um Arbeiten von An-

fängern zu leiten, nach allem, was wir hören, geeigneter als Helmholtz . . . Wenn nun noch die Erwägung hinzukommt, dass Kirchhoff leichter als Helmholtz zu gewinnen sein dürfte, so glaubt die Facultät berechtigt zu sein, wenn sie zunächst den Professor Kirchhoff als denjenigen namhaft machte, welchen Ew. Excellenz als G. Magnus' Nachfolger zu berufen ehrerbietigst gebeten werden."

Der damalige Rector der Berliner Universität, du Bois, wurde nunmehr vom preussischen Minister ermächtigt, zunächst mit Kirchhoff in mündliche Verhandlung zu treten, und reiste zu dem Zwecke in den ersten Tagen des Juni mit einer Anweisung von Olshausen, sich für den Fall einer Ablehnung Kirchhoff's nach den Bedingungen von Helmholtz zu erkundigen, und mit Briefen der Mathematiker Weierstrass und Kronecker an letzteren nach Heidelberg. Kirchhoff blieb seinen Heidelberger Freunden treu. Noch während eines kleinen Diners, das du Bois am 12. Juni im Hotel zum Europäischen Hof Kirchhoff und Helmholtz zu Ehren gab, und an dem nur noch Bunsen und ich, der als Nachfolger Hesse's Ostern 1869 nach Heidelberg berufen war, Theil nahmen, traf auf die telegraphische Anfrage du Bois' die Erlaubniss des Ministers ein, mit Helmholtz den Beginn der Verhandlungen wenigstens einzuleiten. Unvergesslich bleiben mir, dem noch einzig Ueberlebenden, die herrlichen Worte du Bois', welcher in einer schwungvollen Rede hervorhob, „dass Heidelberg lange genug der Mittelpunkt naturwissenschaftlicher Forschung gewesen, und dass, wenn er es auch verstände, dass Kirchhoff von seinen Freunden sich nicht trennen wolle, Helmholtz doch durch die Natur seiner Arbeiten allmählich ganz in die physikalische Forschung gedrängt worden sei, und dass es ihm gezieme, in die Hauptstadt des immer mehr sich einigenden Deutschlands überzusiedeln, von der aus er seinen Weg genommen." Dass wenige Wochen später

wirklich der grosse Kampf um die factische Einheit Deutschlands entbrennen sollte, ahnte Niemand von uns.

Du Bois reiste schon am folgenden Tage zur Berichterstattung nach Berlin zurück und erhielt bereits ein vom 12. Juni datirtes Schreiben von Helmholtz, welches die mündlich besprochenen Bedingungen formulirte:

„Lieber Freund! Auf die mir von Dir im Auftrage des Herrn Cultusminister von Mühler gestellte Anfrage, unter welchen Bedingungen ich entschlossen sei, nach Berlin überzusiedeln, um die durch Magnus' Tod dort erledigte Professur der Physik zu übernehmen, antworte ich Dir, dass ich bereit bin, es zu thun unter folgenden Bedingungen: 1. Persönliches Gehalt von 4000 Thalern jährlich, 2. Zusage, so weit nach den geschäftlichen Verhältnissen gegenwärtig eine solche gegeben werden kann, der Erbauung eines physikalischen Institutes mit den nöthigen Hülfsmitteln für den Unterricht, für die eigenen Arbeiten des Directors und für praktische Arbeiten der Studirenden, 3. Zusage, dass ich allein die Direction über dieses Institut und die Instrumentensammlung behalte, und es meinem Urtheil überlassen bleibt, wie weit und unter welchen Bedingungen ich anderen Docenten die Mitbenutzung einräumen kann (gegen Herrn Professor Dove würde natürlich von meiner Seite die allergrösste Rücksichtnahme stattfinden). Das Auditorium im physikalischen Institut müsste ebenfalls mir allein zum Gebrauche vorbehalten bleiben, damit die Aufstellung complicirterer Anordnungen von Instrumenten darin möglich sei, 4. Dienstwohnung für mich im Institut und bis zu ihrer Herstellung eine entsprechende Miethsentschädigung, 5. Provisorische Beschaffung von gemietheten Räumen in der Nähe der Universität für physikalische Arbeiten von mir selbst, und einigen Studirenden mit der nöthigen Assistenz, 6. Eine angemessene Umzugsentschädigung. Sobald Du mir anzeigst dass der Herr Minister geneigt sei, solche Bedingungen zu bewilligen, würde ich selbst nach Berlin kommen, um mir

die Verhältnisse anzusehen und die Nebenpunkte so weit festzusetzen, als sie von vornherein festzusetzen sind. Sollte gewünscht werden, dass ich schon im Herbst die Stelle antrete, so würde die Sache vor dem 1. Juli so weit geführt sein müssen, dass ich hier mein Abschiedsgesuch einreichen könnte.“

Der Cultusminister zögert keinen Augenblick, um die Beschaffung der Geldmittel beim Finanzminister zu beantragen, und schreibt schon am 14. Juni an letzteren:

„Bei dem Rufe, welchen Helmholtz in der wissenschaftlichen Welt allgemein und unbestritten geniesst, wäre eine Gewinnung auch politisch ein Act von grosser Bedeutung.“

Zugleich aber wendet sich auch die philosophische Facultät unter dem Decanat von Ernst Curtius noch einmal am 17. Juni an den Minister:

„Ew. Excellenz haben, wie die Facultät durch den Rector vernommen, ihre im Schreiben vom 24. Mai cr. für die Wiederbesetzung des Lehrstuhles der Physik ehrerbietigst ausgesprochenen Wünsche sofort zu erfüllen gesucht, so dass wir, nachdem der zunächst begehrte G. Kirchhoff in seiner Stellung zu bleiben beschlossen hat, nun begründete Hoffnung haben, Herrn Professor Helmholtz zu gewinnen. Indem wir durch diese Aussicht freudig bewegt und von aufrichtigem Danke erfüllt sind für die thatkräftige Fürsorge, welche Ew. Excellenz unseren Interessen bezeugt haben, sehen wir der weiteren Entwickelung dieser hochwichtigen Angelegenheit mit vollem Vertrauen entgegen und gestatten uns nur noch in Betreff der Berufungszeit eine ehrerbietige Vorstellung. Wenn die Berufung von Helmholtz noch bis Ende des Jahres in der Schwebe bleiben sollte, so würde bis dahin ohne Zweifel noch Alles versucht werden, um seine Rückkehr nach Preussen zu hindern, wie dieselbe ja schon einmal an dem langen Warten auf definitive Entscheidung gescheitert ist. Auf jeden Fall würde der Winter in Heidelberg für Helmholtz eine peinliche

Zeit sein, und es liegt in seinem wie in unserem Interesse, dass er uns so bald wie möglich ganz angehöre. Darum ersuchen wir Ew. Excellenz ehrerbietigst, die glücklich begonnenen Unterhandlungen so zum Abschluss zu führen, dass alle weiteren Gegenbemühungen abgeschnitten werden, und dass Herr Professor Helmholtz in den Stand gesetzt werde, zum 1. Juli cr. in Heidelberg zu kündigen und zum 1. October nach Berlin überzusiedeln."

Schon am 28. Juni geht der Cultusminister in einem Schreiben an Helmholtz auf alle von ihm ausgesprochenen Wünsche ein, wobei, da in dem Fonds der Universität nur 2000 Thaler vorhanden, die anderen 2000 Thaler in dem Etat der Akademie der Wissenschaften als ein gleich den Universitätsbesoldungen ad dies vitae zu zahlendes akademisches Gehalt durch Ueberweisung der erforderlichen Mittel aus allgemeinen Staatsfonds vom nächsten Jahre ab bereit gestellt werden sollen.

„Zur Flüssigmachung des akademischen Gehaltes und der Mittel zum Bau und zur demnächstigen Ausstattung des physikalischen Institutes ist verfassungsmässig die Zustimmung des Landtags erforderlich. Dass dieselbe seiner Zeit erfolgen wird, ist nicht zu bezweifeln. Gleichwohl bin ich nach den constitutionellen Grundsätzen nicht befugt, in Bezug auf diese Punkte vor erlangter Zustimmung des Landtags eine rechtsverbindliche Erklärung abzugeben und die bezüglichen Summen zur Zahlung anzuweisen. Aus dieser Rücksicht kann ich daher zu meinem grössten Bedauern als den Zeitpunkt Ihrer Berufung an die hiesige Universität nicht, wie ich es so sehr gewünscht hätte, Michaelis d. J., sondern erst Ostern k. J. bezeichnen. Ich habe aber keinen Augenblick zögern wollen, Sie von der diesseitigen Bereitwilligkeit zur Erfüllung Ihrer Bedingungen zu unterrichten, und füge das ergebenste Ersuchen hinzu, mir Ihren Entschluss, ob Sie nunmehr wieder der Unsrige werden wollen, gefälligst recht bald mitzutheilen."

Am 1. Juli geht Helmholtz in einem Schreiben an den Minister auf dessen Wünsche ein.

„Was mich betrifft“, schreibt ihm du Bois, „so sind wenige Ereignisse meines Lebens für mich so beglückend gewesen, wie dieses. Das Loos, welches mich am 1. August vorigen Jahres zum Rector machte, war eine gescheidte That des Weltgeistes. Möge ich auch zu Deinem Glücke beigetragen haben, wie ich stets für Deinen Ruhm bestrebt gewesen bin.“

Nun kamen für Helmholtz Tage grosser Aufregung; zu der Spannung, mit der er die Erledigung seiner Berufungsfrage erwartete, kamen die immer bedrohlicher lautenden politischen Nachrichten.

„Eben wollte ich an Käthe Ordre für den Kriegsfall absenden“, schreibt er am 3. Juli seiner mit den Kindern bei ihren Eltern weilenden Frau, „als das Telegramm kam, wonach Prinz Leopold gutmüthig genug gewesen ist, abzudanken. Ich wollte, König Wilhelm hätte diese Vermittelung gelassen; es wird doch nur einen kurzen Aufschub bewirken und sieht aus wie eine Nachgiebigkeit aus Schwäche.“

An den folgenden Tagen war er sehr erregt. Bunsen, Kirchhoff und ich machten fast täglich grössere Spaziergänge mit ihm und trafen Abends noch meist im Darmstädter Hof mit ihm zusammen. Am 11. Juli schreibt er seiner Frau:

„Jetzt fange ich wirklich an zu fürchten, dass wir Krieg haben werden, denn das Gebahren der französischen Regierung lässt nur die eine Erklärung zu, dass sie auf eine Gelegenheit gewartet haben, und jetzt eine passende gefunden zu haben glauben; sonst wäre es der reine Wahnsinn. Ich glaube auch nicht, dass die Preussen dem Kriege allzuweit ausweichen werden; denn wenn es einmal feststeht, dass er früher oder später kommt, so werden sie ihn gleich annehmen. Das kann alle unsere Pläne und Aussichten gewaltig verändern.“

Schon am 17. Juli theilt ihm du Bois unter dem furchtbaren Eindruck der Kriegserklärung mit, dass sich nun gar nicht absehen lässt, wann die Kammer das Budget berathen wird.

Gedanken, Zeit und Kraft von Helmholtz wurden nun durch die gewaltigen Ereignisse ganz in Anspruch genommen:

„. . . Ich selbst habe“, schreibt er in den ersten Tagen des October an du Bois, „zwei Monate lang hier in Lazarethangelegenheiten gearbeitet und hatte speciell die Direction der Aufnahme und Vertheilung der Verwundeten und des Bureaus auf dem Bahnhofe, bin auch einmal mit einer Expedition von jüngeren Aerzten nach Wörth gewesen und habe die Schauer eines Schlachtfeldes nach der Schlacht kennen gelernt. Eine Weile war eine solche angestrengte Thätigkeit eine Wohlthat, um über die Aufregung der Zeit hinweg zu kommen; schliesslich aber, als die Geschäfte einen ruhigeren Gang nahmen, und für mich weniger zu thun war, zeigten mir häufig wiederkehrende heftige Migräneanfälle an, dass ich ausruhen müsse. Ich ging erst zu meinen Schwiegereltern nach Starnberg, wo auch unsere kleine Familie die Kriegszeit durchgemacht hatte. Da war es aber schon zu winterlich, und so ging ich dann noch auf drei Wochen nach Meran und bin gestern über das Engadin und Chur nach Hause gekommen.“

Durch den glücklichen und über alles Erwarten raschen Verlauf des Krieges war du Bois schon am 13. October in der Lage, Helmholtz in Aussicht zu stellen, dass der Landtag im November zusammentreten und seine Berufung dann definitiv geordnet werde, dass er sich aber in Rücksicht auf die Zeitverhältnisse in einen Aufschub des Neubaues werde fügen müssen, womit sich auch Helmholtz am 17. October einverstanden erklärt, vorausgesetzt, dass ihm das Versprechen gegeben werden kann, die Sache solle bei wiederhergestellten normalen Geldverhältnissen des Staates sofort in Angriff genommen werden, und voraus-

gesetzt ferner, dass die provisorischen Einrichtungen eines Arbeitslocales für ihn und einige Studirende so hergestellt werden, dass ihm die Möglichkeit bleibt, experimentelle Arbeiten theils selbst auszuführen, theils zu leiten.

Am 16. December 1870 geht der preussische Minister in einem Schreiben an Helmholtz auf alle diese Wünsche ein.

„Ich habe seiner Zeit nicht gesäumt, die nöthigen Schritte zu thun, um die Erfüllung meiner Zusagen auf dem verfassungsmässigen Wege sicherzustellen. Die bald darauf eingetretenen kriegerischen Verhältnisse haben indessen nothwendig auf den Fortgang der Sache hemmend einwirken müssen . . . Zum Bau eines physikalischen Laboratoriums hat dagegen in den Etat keine Summe eingestellt werden können, da es unter den gegenwärtigen Verhältnissen unthunlich erschien, der Staatskasse, welche schon für die Fortführung der bei Ausbruch des Krieges bereits in Angriff genommenen Bauten sorgen muss, neue derartige Verpflichtungen aufzuerlegen. Ich bedaure lebhaft, dass dieserhalb der Beginn des Baues, wenn auch vielleicht nur auf ein Jahr, hat verschoben werden müssen . . . Es würde mir sehr erwünscht sein, wenn Sie sich zu einer Reise nach Berlin entschliessen möchten, um hier an Ort und Stelle Ihre Wünsche näher zu bezeichnen und die Möglichkeit der Erfüllung zu erörtern.“

Helmholtz antwortete, dass er sich am 28. December, Vormittags, im Ministerium melden werde, dass er die Stellung annehme und rechtzeitig seine Entlassung zu Ostern 1871 in Karlsruhe nachsuchen werde.

Noch vor Ende des Jahres reiste er mit seiner Frau nach Berlin, fand dort eine sehr schöne und frei gelegene Wohnung in der Königin-Augusta-Strasse und führte die Besprechungen über die provisorischen Einrichtungen des physikalischen Instituts persönlich in kurzer Zeit mit dem gewünschten Erfolge zu Ende. Das Ministerium knüpfte sogleich Unterhandlungen zum Kaufe eines Grundstückes

für den Neubau an, gab ihm ein provisorisches Local in der Universität, wo die Instrumente aufgestellt, und das Laboratorium im damaligen Herbarium, welches verlegt wurde, eingerichtet werden sollte, und erfüllte alle sonstigen kleineren Wünsche mit entgegenkommendster Bereitwilligkeit. Glücklich und befriedigt von dem Empfange, den ihnen die du Bois'sche Familie sowie die anderen hervorragenden Gelehrten Berlins bereitet, kehrten sie nach Heidelberg zurück.

Helmholtz erbat am 2. Januar seine Entlassung aus dem badischen Staatsdienst und erhielt schon einige Wochen darauf die vom Kaiser Wilhelm am 13. Februar 1871 in Versailles unterzeichnete Bestallung. Nur wenige Tage nach seiner Rückkehr aus Berlin erhielt er von Sir William Thomson die Anfrage, ob er geneigt wäre, eine Professur der experimentellen Physik in Cambridge anzunehmen, musste aber nunmehr trotz der glänzendsten Bedingungen dankend ablehnen.

„So geschah“, sagt du Bois, „das Unerhörte, dass ein Mediciner und Professor der Physiologie den vornehmsten physikalischen Lehrstuhl in Deutschland erhielt, und so gelangte Helmholtz, der sich selber einen geborenen Physiker nannte, endlich in eine, seinem specifischen Talente und seinen Neigungen zusagende Stellung, da er damals, wie er mir schrieb, gegen die Physiologie gleichgültig geworden war und eigentliches Interesse nur noch für die mathematische Physik hatte.“

Sein Sohn Richard, welcher wohl erkannte, dass sein Vater es gern sehen würde, wenn er den kriegerischen Ereignissen nicht fern bliebe — „warme Vaterlandsliebe war stets eine ausgesprochene Eigenschaft meines Vaters“ — war, wiewohl erst siebzehnjährig, schon im August 1870 beim reitenden Zuge der leichten Ersatzbatterie des badischen Feldartillerieregiments als Kriegsfreiwilliger eingetreten und wurde im Anfang des November ins Feld nachgeschickt, wo er ausser einzelnen kleinen Scharmützeln die dreitägige Schlacht an der Lisaine

mitmachte und in Folge eines Unfalles an seinem Geschütz, wenn auch nicht schwer, verwundet wurde.

Noch in den letzten Wochen seines Heidelberger Aufenthaltes verabschiedete sich Helmholtz bei der gebildeten Bevölkerung Heidelbergs, welche so oft in Begeisterung und Verehrung seinen herrlichen populären Vorlesungen gelauscht, durch einen Vortrag „Ueber die Entstehung des Planetensystems"; die Bühne des dichtgedrängt vollen Saales war ganz mit Lorbeern geschmückt, ein Kranz lag darauf, und das gesammte Publicum erhob sich, als er erschien. Mit wunderbarer Klarheit und in vollendeter Form erläuterte er die Kant-Laplace'sche Hypothese mechanisch und physikalisch und legte die geistvollen Betrachtungen dar, durch welche W. Thomson nachgewiesen, dass die Dichtigkeit des Lichtäthers möglicherweise ausserordentlich viel kleiner als die Luft im Vacuum einer guten Luftpumpe sein mag, dass aber die Masse des Aethers nicht absolut gleich Null ist, sondern dass ein Volumen gleich dem der Erde nicht unter 2775 Pfund Lichtäther enthalten kann.

„Die Grundlagen würden dieser Rechnung allerdings entzogen werden, wenn sich die Maxwell'sche Hypothese bestätigen sollte, wonach das Licht auf elektrischen oder magnetischen Oscillationen beruht."

Fünfundzwanzig Mitglieder des naturhistorisch-medicinischen Vereins überreichten ihrem scheidenden Präsidenten einen prachtvollen silbernen Tafelaufsatz und eine silberne Schale, getragen von einem schlanken Genius von mattem Silber.

Am 5. März 1871 vereinigten sich die Collegen und eine grosse Zahl von Männern aus den gebildeten Ständen Heidelbergs zu einem Festmahl Helmholtz zu Ehren in der Harmonie. Allen Theilnehmern werden die Worte, welche er und andere dort gesprochen, unvergesslich bleiben — aber alle beherrschte auch das Gefühl, dass der grösste Denker und Forscher Deutschlands dorthin gehöre, wo dem

Gründer des Deutschen Reiches der gewaltigste Staatsmann und der genialste Feldherr zur Seite standen.

„Meiner Schwester", schreibt Frau von Schmidt-Zabièrow, „fiel der Abschied aus der süddeutschen Heimath, das Loslösen von den geliebten Jugendverhältnissen, das Scheiden aus dem Kreise der ihr warm ergebenen Freunde sehr schwer, doch erfasste sie in vollem Umfang die Bedeutung dieser Wendung in dem Leben ihres Mannes und brachte alle persönlichen Bedenken zum Schweigen."

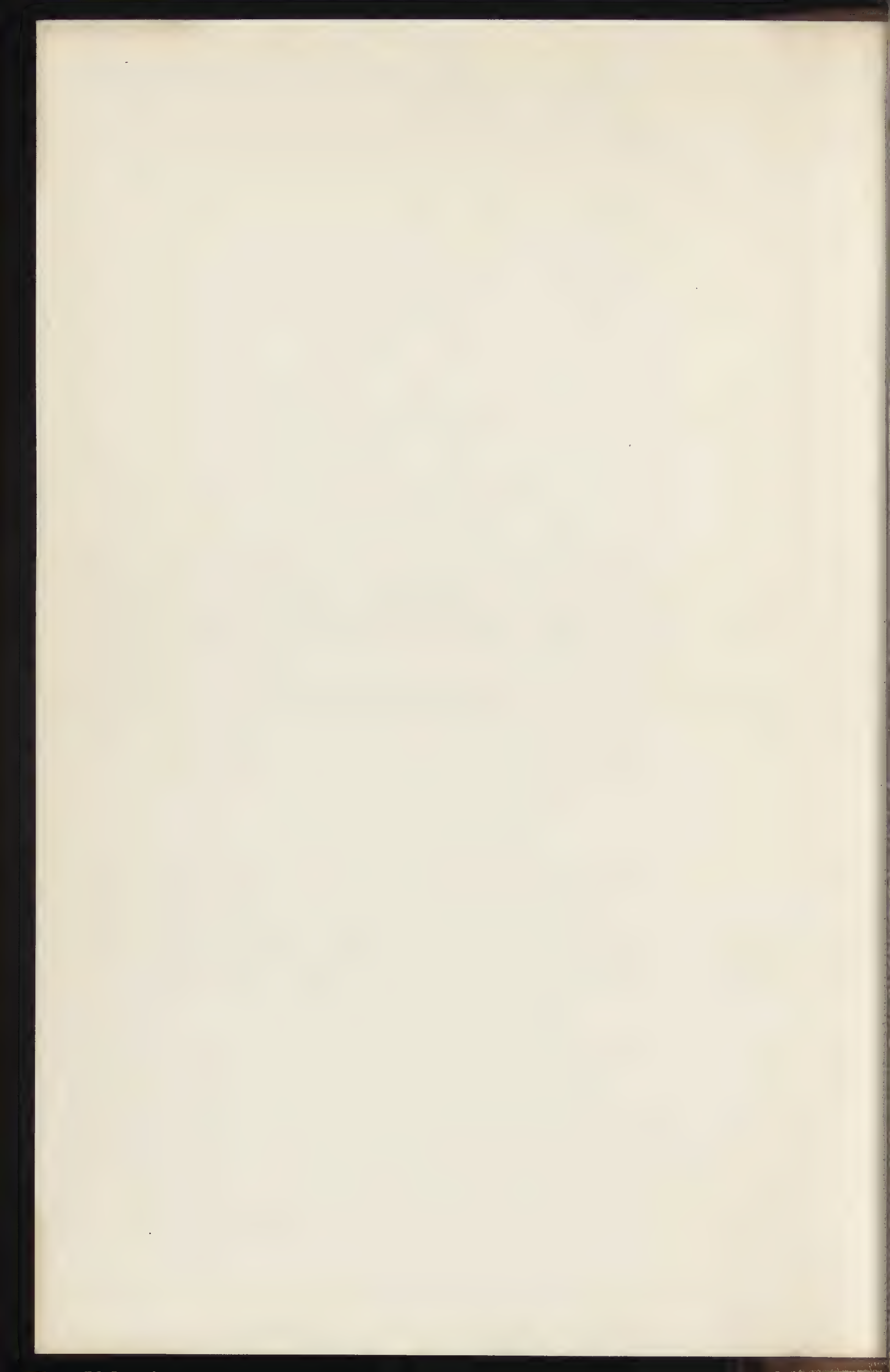
Helmholtz als Professor der Physik in Berlin von Ostern 1871 bis Ostern 1888.

Kaum war die Uebersiedelung von Helmholtz nach Berlin vollzogen, als die noch in demselben Jahre erfolgte Verlobung und die kurz darauf stattfindende Verheirathung seiner Tochter Käthe eine wesentliche Veränderung im Hause herbeiführte.

„Beide Kinder von Helmholtz“, schreibt seine Schwägerin Betty Johannes, „waren auch nach seiner Verheirathung mit der Grossmutter zusammen geblieben, die ihre specielle Pflege übernahm und in demselben Hause wohnte, und sie waren jeden Sommer bei mir auf dem Lande gewesen. Käthe war eine tiefernste Natur, fast krankhaft in ihrem Streben nach den höchsten Zielen, sich nie genugthuend, nie im Stande, die Welt und ihre Erscheinungen in vollkommenen Einklang mit ihren Vorstellungen zu bringen. Sie ist sehr geliebt und sehr bewundert worden. Als sie heranwuchs, und sich ein hervorragendes Talent zur Malerei entwickelte, wurde ihr, hauptsächlich durch das Eingreifen ihrer zweiten Mutter, jeder Weg geebnet, der zur Entwickelung ihrer Gaben und zugleich zu erweiterten Anschauungen und Eindrücken führte. Sie machte Reisen nach München, Wien, Tyrol, ins bayerische Hochland, sie malte in Berliner und Pariser Ateliers und verbrachte ein Jahr in Frankreich und England im Hause des berühmten Orientalisten J. Mohl,

Pastellzeichnung von Franz von Lenbach 1894.





dessen Gattin grossen Einfluss auf sie gewann. Sie übersetzte im 19. Jahre Tyndall, in Gemeinschaft mit ihrer Mutter und Frau Wiedemann, und verfolgte mit rastlosem Interesse ihres Vaters Arbeiten. Die Liebe und Verehrung für ihren Vater glich der Anbetung. In meinem Hause in Dahlem lernte Käthe ihren Mann, den Dr. Branco, kennen; sie verlobten sich 1871, heiratheten 1872 und gingen gleich nach der Hochzeit auf längere Zeit nach Italien, dem Lande von Käthe's heissester Sehnsucht. Zurückgekehrt kaufte Branco ein Gut bei Genthin, damit seine Frau ganz ihrer Gesundheit leben könnte, dort wurde ihnen im Jahre 1873 die Tochter Edith geschenkt — aber nun ging es bergab mit ihrem Leben. Ein erneuter längerer Aufenthalt in der Schweiz und Baden-Baden, die Uebersiedelung nach Heidelberg, dann wiederum Italien — es war alles vergeblich. Sie kehrte im Jahre 1877 aus Italien zurück, um in der Heimath, in Dahlem, am 25. April zu sterben. Vor dem Altar der Dorfkirche, vor dem ihre Eltern getraut worden, stand ihr Sarg aufgebahrt."

Helmholtz legte als ordentliches Mitglied der Berliner Akademie, zu dem er am 1. April ernannt worden war, derselben am 25. Mai 1871 unter dem Titel: „Ueber die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der elektrodynamischen Wirkungen" eine Arbeit vor, in welcher er an Untersuchungen von Blaserna anknüpft und eine damals für die Entwickelung der Elektrodynamik äusserst wichtige Frage behandelt, auf die er schon in der oben besprochenen grossen elektrodynamischen Arbeit hingewiesen hatte. Nach der von C. Neumann vertretenen Ansicht, sowie nach den Anschauungen von Faraday und Maxwell, welche die elektrodynamische Fernwirkung durch eine Veränderung des den Raum füllenden Mediums bedingt sein liessen, würden die elektrodynamischen Fernwirkungen elektrischer Ströme durch Kräfte zu Stande kommen, welche sich mit endlicher Geschwindigkeit durch den Raum hin verbreiten,

und diese Geschwindigkeit wurde der des Lichtes nahezu gleichgesetzt. Helmholtz hatte jedoch in seiner Kritik der elektrodynamischen Theorien gezeigt, dass je nach den Annahmen, die man über die magnetische oder diëlektrische Polarisationsfähigkeit der Luft macht, auch andere Werthe der Fortpflanzungsgeschwindigkeit mit den Thatsachen vereinbar sind. Nachdem Blaserna durch Versuche gefunden zu haben glaubte, dass die Fortpflanzung wenigstens der inducirenden Wirkungen elektrischer Ströme in der Luft mit einer sehr mässigen Geschwindigkeit vor sich geht, sah sich Helmholtz, welcher schon längere Zeit mit Versuchen über den Verlauf sehr kurz dauernder elektrischer Ströme beschäftigt war, zunächst veranlasst, die Genauigkeit jener Versuche für die Fortpflanzung der Wirkung durch die Luft hin zu prüfen. Er gelangte zu dem Resultat, „dass die grössere Entfernung der beiden Spiralen von 136 cm die Lage der Nullpunkte des inducirten Stromes nicht um einen Theilstrich des Mikrometers, d. h. nicht um $^1/_{231170}$ einer Secunde veränderte. Pflanzen sich also die inducirenden Wirkungen wirklich mit einer angebbaren Geschwindigkeit fort, so muss diese grösser sein als 314400 m, oder etwa 42,4 geographische Meilen in der Secunde".

In Beziehung auf die Resultate dieser Untersuchung schreibt mir Blaserna im Anschluss an die früheren Bemerkungen über elektrische Oscillationen:

„Dafür griff er ein anderes Resultat an, welches ich in demselben Mémoire glaubte gefunden zu haben. In einer Untersuchung über den Verlauf der inducirten Ströme fand ich nämlich, dass der inducirende Einfluss einer primären Spirale auf eine secundäre nur langsam erfolgt, so dass bei grösseren Entfernungen der beiden Spiralen eine messbare Verzögerung eintreten sollte. Durch sehr genau durchgeführte Messungen wies nun Helmholtz nach, dass dies nicht der Fall ist, und dass die inducirende Wirkung, so zu sagen, sich mit Aethergeschwindigkeit fortpflanzt, während

ich bloss eine Moleculargeschwindigkeit glaubte gefunden zu haben. Ich untersuchte nochmals die Frage auf rein experimentellem Wege und überzeugte mich, dass Helmholtz Recht hatte. Der Verlauf des inducirten Stromes ist viel complicirter, als ich früher vermuthet hatte, und in einer Reihe von Schwingungen hatte ich einen temporären Nullpunkt für einen definitiven angesehen. Ich gab in Folge dessen meine Behauptung auf. Nicht viel später lernte ich Helmholtz im Engadin persönlich kennen. Wir besprachen die Misserfolge in der früheren und in dieser Untersuchung mit einer Objectivität, als ob wir beide gar nicht daran betheiligt gewesen wären, und kamen später noch öfters auf dieselben zurück. Die grossartige Auffassung, die er stets in allem zeigte, und sein liebenswürdiges cavalieres Wesen hatten vom ersten Beginn einen tiefen Eindruck auf mich gemacht."

Noch in demselben Sommer, am 6. Juli 1871, hielt er in der Leibnizsitzung der Akademie der Wissenschaften die schöne und pietätvolle Rede „Zum Gedächtniss an Gustav Magnus", dessen Nachfolger er geworden, und dessen Person und Wirken er um so mehr gerecht zu werden sich verpflichtet fühlte, als es durch die ein wenig kühle Aufnahme seiner „Erhaltung der Kraft" durch Magnus den Anschein hatte, oder wenigstens nach den Behauptungen seiner Gegner den Anschein haben sollte, als ob ein tiefer Gegensatz zwischen den wissenschaftlichen Bestrebungen und eine gegenseitige, nicht allzu grosse Werthschätzung der Arbeiten dieser beiden ausgezeichneten Forscher bestanden hätte. Schon aus seinen Jugendbriefen an du Bois war erkennbar, wie hoch Helmholtz die bei Magnus stets hervortretende, von jeder Eifersucht freie Bereitwilligkeit zur Unterstützung jugendlicher Forscher schätzte, zugleich aber auch — und dies hebt er jetzt wieder besonders hervor — die eigene treue, geduldige und bescheidene Arbeit, welche er stets so lange fortsetzte, bis er an dem Werke, das ihn beschäftigte, nichts mehr zu bessern

wusste, und die, wenn er sie auch bei seinen Schülern bemerkte, ihm diese zu seinen persönlichen Freunden machte.

Die Keime der Berliner Physikalischen Gesellschaft waren aus den Uebungen hervorgegangen, welche Magnus in Form von Besprechungen und Berichterstattungen über physikalische Fragen an bestimmten Abenden in seinem Hause abhielt, und dort hatte im Winter 1847 Helmholtz, als er im Laboratorium von Magnus seine Versuche über die Rolle der Weinhefe in der weinigen Gährung wiederholte, auch G. Wiedemann kennen gelernt.

„Vorlesungen über mathematische Physik gab es damals noch nicht“, sagt er zwanzig Jahre später in der Gustav Wiedemann gewidmeten und dem Jubelbande der „Annalen“ beigefügten Huldigungsgabe. „Herr G. Wiedemann und ich selbst, die wir doch das Streben hatten, angeregt durch Gauss' magnetische Untersuchungen, etwas von mathematischer Physik zu erfahren, haben uns deshalb zusammengethan, um einige Werke von Poisson, namentlich die von ihm entwickelte Theorie der Elasticität privatim gemeinsam zu studiren, was wir sehr regelmässig und mit vielem Nutzen gethan haben.“

Die Arbeiten von Magnus errangen durch die classische Vollendung ihrer Methode, durch die Genauigkeit und Zuverlässigkeit ihrer Resultate dauernden Ruhm. Helmholtz preist ihn glücklich, weil es ihm vergönnt gewesen, in reiner Begeisterung für ein ideales Princip zu arbeiten.

„Man kann von solchen Menschen sagen, der Neid des Schicksals verkümmert ihnen ihre Erfolge nicht, weil sie für reine Zwecke und mit reinen Wünschen arbeitend auch ohne äussere Erfolge ihre Befriedigung finden würden.“

Vor allem sind aber in dieser Rede die allgemeinen Bemerkungen von hohem Interesse, welche sich auf die verschiedenen Methoden physikalischer Forschung beziehen und zum Theil den Umschwung kennzeichnen, welchen diese in den letzten dreissig Jahren genommen hatten. Magnus

gehörte nicht zu den Forschern, welche dem modernsten übertriebenen Empirismus huldigen, welche nur darauf ausgehen, Thatsachen zu entdecken, die sich unter keine Regel fügen lassen, und es vermeiden, nach einem Gesetze oder Zusammenhange der entdeckten Thatsachen zu suchen. Es lag ihm jedoch auch fern, den Theoretiker zu spielen, der nicht für nöthig hält, die Folgerungen aus seinen ihm als Axiome erscheinenden Hypothesen an der Erfahrung zu prüfen. Vor allem war er aber ein Feind metaphysischer Hypothesen, und die Furcht vor dem etwaigen Wiederaufblühen der Hegel'schen Naturphilosophie konnte ihn bisweilen zu einem strengeren Kritiker der Arbeiten anderer machen, als er es sonst gewesen wäre.

„Unwürdig eines wissenschaftlich sein wollenden Denkers", sagt Helmholtz bei einer anderen Gelegenheit, „ist es, wenn er den hypothetischen Ursprung seiner Sätze vergisst. Der Hochmuth und die Leidenschaftlichkeit, mit der solche versteckte Hypothesen vertheidigt werden, sind die gewöhnlichen Folgen des unbefriedigenden Gefühles, welches ihr Vertheidiger in den verborgenen Tiefen seines Gewissens über die Berechtigung seiner Sache hegt."

Helmholtz hofft, die Ueberzeugung werde immer mehr Boden gewinnen, dass in der physikalischen Wissenschaft nur derjenige fruchtbar experimentiren könne, welcher eine eindringende Kenntniss der Theorie hat und ihr gemäss die rechten Fragen zu stellen weiss, und dass andererseits, wie es sich am glänzendsten bei der Entdeckung der Spectralanalyse gezeigt, nur derjenige fruchtbar theoretisiren könne, der eine breite praktische Erfahrung im Experiment habe. Auch die mathematische Physik ist nach ihm eine Erfahrungswissenschaft, und er sucht in seiner Rede die Scheidewand abzutragen, welche die experimentelle von der theoretischen Physik trennt. Wir finden in der Erfahrung nur ausgedehnte und zusammengesetzte Körper vor, deren Wirkungen zusammengesetzt sind aus denjenigen,

welche ihre einzelnen Theile ausüben; wollen wir also die einfachsten und allgemeinsten, von der Form, Grösse und Lage der wirkenden Körper befreiten Wirkungsgesetze der in der Natur vorgefundenen Massen und Stoffe auf einander kennen lernen, so müssen wir auf die Wirkungsgesetze der continuirlichen und gleichartigen Volumenelemente, nicht der disparaten und verschiedenartigen Atome, zurückgehen, und die mathematische Physik ist daher ebenso wie die experimentelle Physik der Controle der Erfahrung unterworfen.

Dieselbe Frage des gegenseitigen Verhältnisses der experimentellen und mathematischen Physik berührt er auch in seiner „Ueber das Streben nach Popularisirung der Wissenschaft“ betitelten und im Jahre 1874 erschienenen Vorrede zu der Uebersetzung von Tyndall's „Fragments of Science“, indem er die beiden Wege, den gesetzlichen Zusammenhang der Natur aufzusuchen, den der abstracten Begriffe und den einer reichen experimentirenden Erfahrung, von einander scheidet und dann wieder vereinigt. Er hält den ersten Weg, der vermöge der mathematischen Analyse zur quantitativen Kenntniss der Phänomene führt, nur da angezeigt, wo der zweite schon das Gebiet einigermaassen aufgeschlossen und somit eine inductive Kenntniss der Gesetze mindestens für einige Gruppen der dahin gehörigen Erscheinungen gegeben hat. Es handelt sich dann nur um den Uebergang zu den letzten und allgemeinsten Gesetzen und deren Consequenzen in diesem Gebiete. Der rein experimentelle Weg dagegen führt zur Erkenntniss des Gesetzlichen in einer Form, wie es die Künstler auffassen, und wie er sie schon in seinen Goethe-Reden als sinnlich lebendige Anschauung des Typus seiner Wirksamkeit hat erkennen lassen, um sich dann später in die reine Form des Begriffes herauszuarbeiten. Beide Wege müssen nothwendig neben einander hergehen, wenn man nicht Gefahr laufen will, entweder ein Gebäude auf unhaltbarem Fundamente aufzu-

bauen oder das Ziel der Wissenschaft aus dem Auge zu verlieren.

„Die erste Entdeckung bisher unbekannter Naturgesetze, also neuer Gleichförmigkeiten in dem Ablauf anscheinend unzusammenhängender Vorgänge, ist eine Sache des Witzes — dieses Wort in seiner weitesten Bedeutung genommen — und wird fast immer nur durch die Vergleichung reicher sinnlicher Anschauungen gelingen; die Vervollständigung und Reinigung des Gefundenen fällt nachher der deductiven Arbeit der begrifflichen und zwar vorzugsweise mathematischen Analyse anheim, da es sich schliesslich immer um Gleichheit von Quantis handelt."

In den Herbstferien 1871 reiste Helmholtz zur British Association in Edinburgh und suchte zuerst in St. Andrews in Schottland Mr. Tait auf:

„St. Andrews", schreibt er am 20. August seiner Frau, „hat eine prächtige Bai, feine Sandfläche, die dann mit einer scharfen Kante in grüne Grasflächen übergeht. Die Stadt selbst liegt auf steinigen Klippen. Es ist grosses Leben von Badegästen, eleganten Damen und Kindern, Gentlemen in sporting Costümen, welche golfing spielen. . . . . . Mr. Tait kennt hier nichts anderes als golfing. Ich musste gleich mit, die ersten Schläge gelangen mir, nachher traf ich entweder nur die Erde oder die Luft. Tait ist eine eigenthümliche Art von Wildem Mann, lebt hier, wie er sagt, nur für seine Muskeln, und erst heute am Sonntag, wo er nicht spielen durfte, aber auch nicht in die Kirche ging, war er zu vernünftigen Gegenständen zu bringen. . . . . Zum Dinner kam ein Chemiker Andrews aus Belfast, Professor Huxley, der berühmte Fortschrittszoologe aus London, lauter angenehme und interessante Leute. . . . . Andrews zeigte uns merkwürdige Experimente, wie Gas und Flüssigkeiten unter hohem Druck in einander übergehen. . . . Wir hatten Dinner bei Professor Brown, bei dem noch ein grosser Mathematiker Sylvester

einquartirt war, der von Mr. Gladstone sehr schlecht behandelt worden ist, worüber grosse Aufregung unter den Herren herrschte. . . . ."

Er fuhr von dort aus nach Glasgow und übernachtete mit Professor Brown im College, wo ein Neffe von W. Thomson die Honneurs machte.

„Das Haus war im Innern noch nicht fertig, nicht tapezirt, nicht angestrichen, voll alter Möbel, die noch nicht an ihrer Stelle standen, und es machte einen unsäglich traurigen Eindruck, als ob Niemand sich darum bekümmere, im Gegensatz zu dem älteren Hause, in welchem Lady Thomson noch gewaltet hat. In einer Ecke des Dining room hing ein ausgezeichnet schönes und ausdrucksvolles Porträt, gezeichnet, von ihr, und darunter ihr Canapée, auf dem sie immer lag, und Decke. Ich wurde ganz traurig und musste die Thränen zurückhalten, während die beiden jungen Leute bei unserm Thee sich lustig unterhielten. Es ist sehr traurig, wenn die Männer ihre Frauen verlieren und ihr Leben verödet."

Von dort fuhr er zu den Wettfahrten nach Iverary, die er auf der Yacht von W. Thomson mitmachte, einem Zweimaster, der mit zu den grösseren und behaglicheren der dort versammelten ziemlich grossen, schlank und elegant gebauten 40 Yachten gehörte; er bewunderte die Geschicklichkeit, mit der Thomson und seine Leute manövrirten. Nachdem er die Schwiegereltern von Thomson in Largs besucht, wo dessen Frau gestorben war, macht er mit seinem Freunde noch einige grössere Fahrten auf dessen Lalla Rookh „die Yacht ist wie ein bewegliches Seebad und bietet bei gutem Wetter einen angenehmen Aufenthalt", und studirt mit Thomson die Theorie der Wellen, „was er am liebsten auch als eine Art von race zwischen uns beiden behandeln möchte". Sie suchten an der Westküste von Schottland eine Reihe der schönst gelegenen Orte auf, bis sie das nördliche Ende ihrer Fahrt erreichten, die

Insel Skye, freilich in Folge starker Stürme mit wiederholten Unterbrechungen. Auf dem Rückwege besuchten sie in der Nähe von Glasgow die Familie des Mathematikers Blackborn, und er erfreut sich an dem merkwürdigen Talente von Mrs. Blackborn in der Thiermalerei, deren Bilder ihm schon auf der Ausstellung in London aufgefallen waren:

„Es ging sehr bequem und ungenirt zu. W. Thomson hat die Freiheit des Umganges jetzt so weit getrieben, dass er stets sein mathematisches Heft mit sich führt, und sobald ihm etwas einfällt, mitten in der Gesellschaft zu rechnen anfängt, was man allgemein mit einer gewissen Ehrfurcht betrachtet. Wie wäre es, wenn ich die Berliner auch daran gewöhnte? Am naivsten aber fand ich es, dass er sich am Freitag die Gesellschaft auf seine Yacht eingeladen hatte und dann, sobald das Schiff auf seinem Curse war, und sich jeder einen gegen Schwankungen möglichst gesicherten Platz auf dem Deck gesucht hatte, in die Cajüte verschwand, um dort zu rechnen, während sich die Gesellschaft, soweit sie noch Lust dazu hatte, wechselseitig unterhalten mochte, natürlich nicht gerade sehr lebhaft. Ich erlaubte mir meine Unterhaltung darin zu suchen, dass ich auf dem Deck „in schwankender Anmuth“ auf und ab balancirte. . . . .“

Die Rückfahrt war eine sehr angenehme und behagliche, und er konnte an ruhigen Tagen mit W. Thomson Versuche über Fortpflanzungsgeschwindigkeit der kleinsten ripples machen, die auf der Wasserfläche zu Stande kommen können, und über welche Thomson in der letzten Zeit gearbeitet hatte.

„Ich finde aber“, schreibt er seiner Frau am 14. Sept., „dass ein nicht mehr ganz junger Ehemann sich auf die Dauer doch nicht wohl fühlt, wenn er so ohne höhere Leitung, sich selbst überlassen, in der Welt herumschwärmt, und dass, wenn die Welt allein mit Männern bevölkert wäre, sie wahrscheinlich nicht sehr viel Schönheit darbieten

würde, sondern sehr praktisch und unerquicklich sein möchte. . . . ."

Die folgenden Jahre brachten Helmholtz Auszeichnungen und Ehrungen in steter Folge; im Jahre 1873 erhielt er den Preussischen Kronenorden zweiter Klasse, durch Cabinetsordre vom 16. Juli 1873 den Orden pour le mérite, und noch in demselben Jahre wurde er auswärtiges Mitglied der Ungarischen Akademie der Wissenschaften.

Seine Arbeiten wandten sich nun zunächst ganz der Elektricitätslehre zu. In seiner ersten Abhandlung über die Theorie der Elektrodynamik, welche die elektrischen Bewegungen in ruhenden ponderabeln Trägern der Elektricität behandelt und für die Grundprincipien der Mechanik überhaupt von hervorragendem Interesse ist, war es ihm gelungen, dem F. E. Neumann'schen Potentialausdruck eine Form zu geben, in welcher er auch die aus den Theorien von W. Weber und Maxwell hervorgegangenen abweichenden Potentialausdrücke für je zwei Stromelemente umfasste. Die Untersuchung des Gesetzes für die verschiedenen Werthe seiner Constanten k hatte ergeben, dass das Weber'sche Gesetz zu Unzuträglichkeiten führt; andererseits nahm die Maxwell'sche Hypothese für den Fall, dass auch die in diëlektrischen und magnetischen Medien vor sich gehenden Bewegungen der Elektricität und des Magnetismus elektrodynamische Wirkung haben, ausser der bisher nicht bestimmbaren Constanten k noch die aus den bisherigen Versuchen ebenfalls nicht bestimmbare diëlektrische Constante des Luftraumes oder die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der elektrischen Transversalwellen im Luftraume zu Hülfe. Es musste ihm somit vor allem darauf ankommen, diese letztere Constante durch Versuche zu ermitteln, welche auch in der That Boltzmann in seinem Laboratorium anstellte, um die jetzt so berühmt gewordene Maxwell'sche elektromagnetische Lichttheorie zu prüfen. Dieser hervorragende Forscher, den Helmholtz später vergeb-

lich als Nachfolger Kirchhoff's nach Berlin zu ziehen suchte, schrieb mir im April 1902: in Folge der Annahme von Helmholtz, dass Maxwell den Brechungsexponenten gleich der Diëlektricitätsconstanten setze, habe die gewünschte Uebereinstimmung sich nicht ergeben; er schied daher in der festen Ueberzeugung aus Berlin, Maxwell gänzlich widerlegt zu haben, und war schon im Begriff, seine Einwürfe gegen dessen Theorie drucken zu lassen. Aber bereits am 1. November 1872 schrieb er an Helmholtz:

„... Noch etwas kann ich nicht umhin, Ihnen zu erzählen. Ich war nämlich bisher immer der Meinung (und ich glaube, auch Sie sprachen diese Meinung aus, als ich in Berlin war), dass nach der Maxwell'schen Theorie von der Identität des Lichtes und der Elektricität die von mir bestimmten Diëlektricitätsconstanten gleich den Brechungsquotienten sein müssten. Als ich jetzt die Werthe aller Diëlektricitätsconstanten in einer Tabelle zusammenstellte, betrübte ich mich recht sehr, dass sie sogar weit von den Brechungsquotienten abwichen, bemerkte aber zugleich, dass sie immer ungefähr gleich den Quadraten der Brechungsquotienten waren. Wie ein Blitz durchfuhr mich der Gedanke, ob nicht etwa die Maxwell'sche Theorie das letztere fordert, da ja Fortpflanzungsgeschwindigkeiten immer den Quadratwurzeln aus den Kräften proportional sind. Ich sah in Maxwell's Abhandlung nach, und richtig war da deutlich zu lesen, dass die Diëlektricitätsconstante dem Quadrate des Brechungsexponenten proportional sein muss (die magnetische Inductionsconstante ist wohl für alle diese Stoffe nahe gleich eins), so dass ich also in meinen Versuchen eine Bestätigung der Maxwell'schen Theorie erblicken muss.“

Zu einer Entscheidung für eine der verschiedenen, von Helmholtz in seiner ersten Arbeit besprochenen Hypothesen war Theorie und Experiment noch nicht reif, und sowohl in der der Akademie am 18. April 1872 vorgelegten Arbeit

„Ueber die Theorie der Elektrodynamik" sowie in der im Journal für reine und angewandte Mathematik im Jahre 1873 erschienenen Ausführung derselben „Ueber die Theorie der Elektrodynamik. Zweite Abtheilung: Kritisches" beschränkt sich Helmholtz zum Theil darauf, die Einwürfe, die gegen seine erste Arbeit erhoben wurden, zu entkräften. Er hebt Bertrand gegenüber hervor, dass die Ausdrücke für das Potential je zweier Stromelemente nicht Ausdrücke der letzten elementaren wirkenden Kräfte sind, sondern dass sie für jedes Stromelement, dieses als festen Körper gedacht, auf eine Kraft und auf ein Kräftepaar führen; die Grösse, zum Theil auch die Richtung dieser Kräfte hänge nicht bloss von der Lage der Elemente, sondern auch von der Geschwindigkeit der elektrischen Ströme ab, und man dürfe somit von dem Potential zweier Stromelemente mit demselben Rechte reden wie von dem Potential zweier Magnete. Vor allem aber sucht er die Gründe zu entkräften, welche W. Weber gegen seine Ausführung geltend gemacht, da schon in dem ganz speciellen Falle der nach dem Weber'schen Gesetze vor sich gehenden Bewegung zweier Elektricitätstheilchen auf ihrer Verbindungslinie die Beschleunigung unendlich gross werden kann, und bei einer geringeren Entfernung der Coefficient der Beschleunigung, welcher der Masse entspricht, negativ wird. Er zeigt ausserdem, dass unter Annahme des Weber'schen Gesetzes für ein elektrisches Massentheilchen, welches innerhalb einer gleichmässig mit Elektricität belegten Hohlkugel beweglich ist, der Fall eintreten könnte, dass der Coefficient der Beschleunigung negativ wird, was zu einer Verwirklichung des Perpetuum mobile führen würde, und weist aufs Neue darauf hin, dass die von Kirchhoff unter Annahme des Weber'schen Gesetzes hergeleiteten Differentialgleichungen für die Bewegung der Elektricität zu einem labilen Gleichgewicht der Elektricität in Leitern führen würden.

Er schreitet nun weiter in dem Vergleich der verschie-

denen Theorien und deren Consequenzen und stellt sich zunächst die Aufgabe, die Ampère'schen Kräfte aus dem Potentialgesetze von F. E. Neumann herzuleiten. Die Veranlassung zu dieser Untersuchung gab zunächst das von Riecke geäusserte Bedenken, dass, wenn man mit Hülfe des Helmholtz'schen Potentialausdruckes das Potential eines geschlossenen Stromes auf ein Stromelement herleitet, sich ergiebt, dass die Wirkung eines geschlossenen Stromes auf den beweglichen Theil eines anderen Stromes nicht, wie es nach Ampère sein muss, senkrecht zu diesem steht. Das Ergebniss seiner Untersuchung legt Helmholtz der Akademie in einem kürzeren Aufsatz, betitelt „Vergleich des Ampère'schen und Neumann'schen Gesetzes für die elektrodynamischen Kräfte" am 6. Februar 1873 vor, während die ausführlichere Darstellung im nächsten Jahre in der im Journal für Mathematik erschienenen Abhandlung „Ueber die Theorie der Elektrodynamik. Dritte Abhandlung: Die elektrodynamischen Kräfte in bewegten Leitern" gegeben wird; in seiner auch noch im Jahre 1874 in den Poggendorff'schen Annalen veröffentlichten Arbeit „Kritisches zur Elektrodynamik" richtet er sich lediglich gegen die bezüglich seiner mathematischen Theorie der Elektrodynamik erhobenen Einwände.

Das F. E. Neumann'sche Potentialgesetz, welches Helmholtz in einem Briefe an Schering eine der brillantesten Leistungen nennt, welche die mathematische Physik aufzuweisen hat, war dazu bestimmt und wohl geeignet, das ganze Gebiet der elektrodynamischen Bewegungskräfte, welche durch das Ampère'sche Gesetz umfasst werden, sowie der elektrodynamischen Induction, hervorgebracht durch Bewegung von Stromleitern und durch Aenderung der Stromintensität, unter ein einziges sehr einfaches Gesetz zu vereinigen. Dasselbe hatte jedoch für geschlossene Ströme nach dem Beweise von Neumann übereinstimmende Resultate mit dem für diese Fälle thatsächlich richtigen Ampère'-

schen Gesetze nur unter der Voraussetzung gegeben, dass die betreffenden beiden Stromleiter ohne Veränderung ihrer Form und Grösse bewegt werden. Um nun das Gesetz der elektrodynamischen Bewegungskräfte für Leiter von drei Dimensionen auszusprechen, zerlegt Helmholtz diese zunächst in leitende Fäden, welche überall der Richtung der zur Zeit bestehenden Strömungslinien folgen, so dass keine Elektricität von einem seiner Fäden zu seinen Nachbarn übergeht. Da nun das Ampère'sche Gesetz nur Kräfte kennt, welche von Stromelement auf Stromelement wirken, so konnte Helmholtz zeigen, dass, wenn man bei Benutzung des Potentialgesetzes noch Kräfte hinzunimmt, welche zwischen Stromenden und Stromelementen, und zwischen den Stromenden der beiden Leiter wirken, aus dem aufgestellten Potential der Stromelemente sich bewegende Kräfte für zwei ungeschlossene Stromtheile herleiten lassen, welche für diese Stromtheile selbst in diejenige Form gebracht werden können, die Ampère diesen Kräften gegeben hat. Treten wie bei der Bewegung der sogenannten Rotationsapparate Gleitstellen auf, so sind diese nach Helmholtz als Stromenden anzusehen, und es ergiebt sich nach seiner Ansicht die Lösung auch in diesen Fällen ohne Schwierigkeit, wenn man berücksichtigt, dass die in der Gleitstelle theoretisch als Grenzfall vorausgesetzte discontinuirliche Verschiebung eben nur Grenze einer physikalisch in der That immer noch continuirlichen Verschiebung ist.

In der oben erwähnten dritten Abhandlung über die Theorie der Elektrodynamik giebt aber Helmholtz nicht nur eine ausführlichere Darstellung eben dieser Resultate, sondern er geht auch in der Entwickelung der allgemeinen Theorie einen wesentlichen Schritt weiter. Bisher war von ihm nur die Einwirkung elektrischer Ströme auf einander und auf Leiter unter der Voraussetzung behandelt worden, dass alle Leiter sich in Ruhe befinden, so dass nur die Aenderungen der Stromstärken in Betracht kommen, und das von

ihm erweiterte Potential zweier Stromelemente auf einander als Arbeitswerth der in denselben vorhandenen elektrischen Ströme definirt werden konnte. Er leitet nunmehr die Bewegungsgleichungen der Elektricität in bewegten ponderabeln Leitern aus denselben Principien her und will zeigen, dass die von ihm durchgeführte Verallgemeinerung des Neumann'schen Potentialgesetzes mit keinen der damals bekannten, fast ausschliesslich auf geschlossene Stromkreise bezüglichen Erfahrungen in Widerspruch steht und zugleich mit dem Gesetz von der Constanz der Energie übereinstimmt. Dagegen hat er die Untersuchung nicht auf den Fall ausgedehnt, dass ausser den bewegten Leitern auch diëlektrisch polarisirbare Medien in Bewegung gerathen, und dass auch die in diesen eintretenden elektrischen Bewegungen elektrodynamisch wirksam sind.

Helmholtz hat also zunächst in den drei über Elektrodynamik veröffentlichten Arbeiten das F. E. Neumann'sche Potentialgesetz, welches die Stärke der inducirten Ströme nicht auf Wirkungen von Punkt zu Punkt, sondern von Längenelementen der Stromleiter auf einander zurückführte, in verallgemeinerter Form ausgesprochen und dadurch erreicht, dass dieses in einfacherer Weise als das ursprüngliche Gesetz von Ampère die sämmtlichen Erscheinungen geschlossener Ströme mit den Thatsachen übereinstimmend und quantitativ genau darstellte. Für die meist ausserordentlich schwachen elektrodynamischen Wirkungen ungeschlossener Ströme, welche zur Ansammlung von Elektricität an einzelnen Stellen der Leiter führen, konnte Helmholtz nachweisen, dass die Anwendung des Potentialgesetzes auf diese nirgends in Widerspruch steht mit den allgemeinen Axiomen der Mechanik, worin der wesentliche Vorzug des Neumann'schen Gesetzes allen anderen Hypothesen über die elektrische Fernwirkung gegenüber lag. Doch bestand ein wesentlicher Unterschied gegen die Faraday'sche Annahme darin, dass elektrodynamische Wirkungen nur den in den Leitern vor-

gehenden elektrischen Strömungen zugeschrieben und die diëlektrischen Ladungen, welche in den zwischen den Leitern liegenden Isolatoren entstehen, nicht als elektrodynamisch wirksam betrachtet wurden. Es erübrigte somit für Helmholtz, zu finden, in welcher Richtung Versuche angestellt werden müssen, um sich für eine der beiden Hypothesen zu entscheiden.

In der im Juni 1875 der Berliner Akademie vorgelegten Arbeit „Versuche über die im ungeschlossenen Kreise durch Bewegung inducirten elektromotorischen Kräfte" beschreibt er zu diesem Zwecke ausgeführte Versuche über die Elektricität, welche sich an der Oberfläche eines im magnetischen Felde rotirenden Leiters sammelt. Nach den gewöhnlichen Inductionsgesetzen muss in einem Leiter, der um die Axe eines Magnetes in Rotation versetzt wird, eine elektromotorische Kraft inducirt werden, während dies nach dem Potentialgesetz allein nicht der Fall wäre, und Helmholtz unterwarf nun die Abweichung, welche sich hier zwischen den beiden Theorien ergiebt, einer experimentellen Entscheidung. Das Resultat der Versuche stand nicht in Uebereinstimmung mit dem Neumann'schen Inductionsgesetz, wenn man annahm, dass das verallgemeinerte Neumann'sche Potentialgesetz bei ausschliesslicher Beachtung der in eigentlichen Leitern vorgehenden Bewegungen der Elektricität relativ zum Leiter eine vollständige Formulirung des Gesetzes der elektrodynamischen Wirkungen sei. Nur dann löste sich der Widerspruch gegen jenes Inductionsgesetz, wenn man die Existenz des Potentialgesetzes mit der Faraday'schen Annahme vereinigte, dass die in den Isolatoren zwischen zwei sich ladenden Leitern zu Stande kommende diëlektrische Polarisation eine elektrische Bewegung ist, welche dem jene Leiterstücke ladenden Strom äquivalente Intensität und äquivalente elektrodynamische Wirkung hat. Alle anderen Theorien, welche Fernkräfte annehmen, deren Intensitäten von der Entfernung, den Ge-

schwindigkeiten und den Beschleunigungen abhängen, ergeben zwar die Phänomene geschlossener Ströme vollkommen richtig, aber sie kommen alle in Widerspruch mit den allgemeinen Axiomen der Dynamik, wenn man sie auf ungeschlossene Ströme anwendet. Die Weber'sche Hypothese lässt das Gleichgewicht der Elektricität als labil erscheinen in jedem Leiter von mässiger Ausdehnung nach drei Dimensionen, und deshalb lassen sich auch aus demselben keine brauchbaren Gesetze für die Bewegung der Elektricität in körperlich ausgedehnten Leitern folgern. Dasselbe gilt von dem Riemann'schen Gesetze, das ausserdem noch in Widerspruch steht zu dem Axiom von der Gleichheit der Action und Reaction, und die Clausius'sche Hypothese, welche von diesen Fehlern frei ist, muss ein raumfüllendes Medium zu Hülfe nehmen, zwischen welchem und den Elektricitäten die von ihm angenommenen Kräfte wirksam werden müssten.

So erkennt Helmholtz die Faraday'sche Annahme als die einzige an, die mit den beobachteten Thatsachen zusammenstimmt und durch keine ihrer Folgerungen mit den allgemeinen Grundsätzen der Dynamik in Widerspruch tritt. Wenn auch Clerk Maxwell bisher diese Theorie wesentlich nur für die Wirkungen geschlossener leitender Kreise durchgeführt hatte, so fand doch Helmholtz, dass sie auch im Einklang ist mit den wenigen damals für nicht geschlossene Leiter gesammelten Thatsachen, wie seine eigenen Versuche über die elektrische Ladung der Oberfläche rotirender Leiter im magnetischen Felde ergeben hatten. Nach der Faraday'schen Annahme entsteht in allen zwischen den Leitern liegenden Isolatoren, wenn die begrenzenden Leiter sich elektrisch laden, diëlektrische Polarisation, und zwar in solcher Stärke, dass die mit der Herstellung dieses Zustandes verbundene Bewegung der Elektricitäten als eine äquivalente Fortsetzung des die Leiter ladenden elektrischen Stromes angesehen werden kann —

es giebt danach nur geschlossene Ströme, für welche all' die verschiedenen Theorien zu denselben Resultaten führten. Es folgt zugleich, dass die Wirkung der etwa noch angenommenen unmittelbaren Fernkräfte verschwinden muss gegen die der Aenderungen der diëlektrischen und magnetischen Spannungen im Raum erfüllenden Aether.

„Jede tiefgreifende Veränderung der grundlegenden Principien und Voraussetzungen einer Wissenschaft", sagt Helmholtz später, „führt nothwendig die Bildung neuer abstracter Begriffe und ungewohnter Vorstellungsverbindungen mit sich, in welche sich die zeitgenössischen Leser nur langsam einleben, wenn sie überhaupt geneigt sind, sich diese Mühe zu geben. Der Sinn einer neuen Abstraction kann erst dann als klar verstanden gelten, wenn die Art ihrer Anwendung auf die wesentlichsten Gruppen der Einzelfälle, die darunter zu ordnen sind, durchgedacht und richtig befunden ist. Neue Abstractionen in allgemeinen Sätzen zu definiren, so dass nicht Missverständnisse aller Art vorkommen könnten, ist sehr schwer. Dem Urheber eines solchen neuen Gedankens wird es dann meist viel schwerer, herauszufinden, warum die Anderen ihn nicht verstehen, als ihm die Entdeckung der neuen Wahrheit gewesen. Ich möchte Faraday's Zeitgenossen nicht herabsetzen, weil seine Worte ihnen unbestimmt und dunkel erschienen; ich weiss zu wohl, wie oft ich selbst gesessen habe, hoffnungslos auf eine seiner Beschreibungen von Kraftlinien und von deren Zahl und Spannung starrend, oder den Sinn von Sätzen suchend, wo der galvanische Strom als eine Axe der Kraft bezeichnet wird, und ähnliches mehr. Es war ein Clerk Maxwell nöthig, ein zweiter Mann von derselben Tiefe und Selbständigkeit der Einsicht, um in den normalen Formen des systematischen Denkens das grosse Gebäude auszuführen, dessen Plan Faraday in seinem Geiste entworfen hatte, welches er klar vor sich sah und welches er sich bemühte, seinen Zeitgenossen sichtbar zu machen."

Wie sehr nun auch Helmholtz auf Grund der Versuche, welche er zum Zwecke einer Entscheidung für oder gegen die Annahme einer Fernwirkung angestellt hatte, geneigt war, den Anschauungen von Faraday beizupflichten, so suchte er doch erst noch als besonnener Kritiker eine Reihe anderer, scheinbar fernliegender Erscheinungen in den Kreis seiner Betrachtungen zu ziehen.

Die Mittheilungen, welche er im August 1872 der Naturforscherversammlung in Leipzig „Ueber die galvanische Polarisation des Platins“ und der Berliner Akademie im folgenden Jahre „Ueber galvanische Polarisation in gasfreien Flüssigkeiten“ machte, und welche zunächst rein experimenteller Natur sind, waren hervorgerufen durch theoretische Bedenken, welche dem Princip der Erhaltung der Energie entsprangen. Es war bekannt, dass, wenn ein Daniell'sches Zinkkupferelement durch eine Wasserzersetzungszelle mit Platinelektroden geschlossen wird, ein polarisirender Strom von schnell abnehmender Stärke entsteht, der aber selbst nach sehr langer Zeit nicht ganz aufhört. Man wusste ferner, dass, wenn nach Trennung der Zersetzungszelle von dem Element die Platinplatten mit dem Galvanometer verbunden werden, der depolarisirende Strom in gewöhnlichen lufthaltigen Flüssigkeiten anfangs stark ist und bald zum Unwahrnehmbaren abnimmt. Helmholtz wirft nun die Frage auf, worauf die scheinbar unbegrenzt lange Fortdauer des polarisirenden Stromes beruht, und findet, dass der dauernde Strom in engem Zusammenhange steht mit den in der Flüssigkeit oder an den Elektroden vor Beginn des Stromes vorhandenen Gasen. Durch Anwesenheit von Wasserstoff wird ein Theil des elektrolytischen Sauerstoffes neutralisirt, und dadurch ein Theil des Wasserstoffes auf der anderen Elektrode frei, der sich dann in der Flüssigkeit löst oder in das Platin eindringt, so dass wieder die Zersetzung einer entsprechenden Menge von Wasser erfolgen kann. Den Vorgang der Fortführung der Elektricität durch Bewegung ihrer

ponderabeln Träger bezeichnet, Helmholtz als elektrische Convection. Die Bewegung eines in den Elektroden eingeschlossenen Gases erfolgt sehr langsam, wenn die Flüssigkeit selbst gasfrei ist, so dass der Depolarisationsstrom in gasfreien Flüssigkeiten sehr lange dauern kann. Durch die Annahme, dass bei der galvanischen Polarisation nicht nur oberflächlich haftende, sondern auch tiefer in das Platin eingedrungene Theile der Gase eine Rolle spielen, und dass für die Fortbewegung der in den Metallen occludirten Gase dieselben Gesetze wie für die Wärmeleitung gelten, konnte aber Helmholtz den Widerspruch mit dem Gesetze von der Erhaltung der Energie fortschaffen. Die Producte der Elektrolyse brauchen hiernach nämlich nicht zum Vorschein zu kommen und die chemische Verwandtschaft von der elektromotorischen Kraft nicht überwunden zu werden; durch Diffusion des Wasserstoffes kann der Vorgang dauernd erhalten werden, so dass die anfängliche Anwesenheit einer beschränkten Gasmenge für einen lange anhaltenden Strom genügt. Um nun das Eindringen der Gase in das Platin bei der galvanischen Polarisation wirklich nachzuweisen, liess Helmholtz in seinem Laboratorium Versuche darüber anstellen, ob der durch Elektrolyse gegen die eine Seite einer dünnen Platinplatte geführte Wasserstoff nach einiger Zeit sich auch an der entgegengesetzten Seite dadurch bemerkbar machen werde, dass er auch dort galvanische Polarisation hervorbringe. Nach dem der Akademie am 16. März 1876 vorgelegten „Bericht über Versuche des Herrn Dr. E. Root aus Boston, die Durchdringung des Platins mit elektrolytischen Gasen betreffend“, zeigte sich in der That, dass der Wasserstoff auf der entgegengesetzten Seite das Platin positiver erscheinen lasse.

Die Frage nun, ob elektrische Convection elektrodynamisch gleichwerthig sei der Strömung der Elektricität in einem Leiter, wird in einem von Helmholtz der Akademie ebenfalls am 16. März 1876 vorgelegten „Bericht, betreffend Versuche

über die elektrodynamische Wirkung elektrischer Convection, ausgeführt von Herrn Henry A. Rowland" beantwortet. Die so gewonnenen Convectionsströme lieferten in der That gleichsam ein Surrogat für die Elektricitätsbewegung in ungeschlossenen Leitern und eröffneten dadurch die Möglichkeit zur Entscheidung wichtiger theoretischer Fragen. Die Resultate der Versuche liessen sich sowohl mit der Theorie von W. Weber als auch mit der die diëlektrische Polarisation der Isolatoren berücksichtigenden Potentialtheorie von Maxwell in Einklang setzen. Indem man eine auf beiden Seiten vergoldete, zwischen zwei ruhenden vergoldeten Glasscheiben bewegliche Ebonitscheibe um eine verticale Axe in schnelle Rotation versetzte, während sie mit Hülfe einer Spitze von den Belegungen einer Leidener Flasche aus mit positiver oder negativer Elektricität geladen wurde, ergab sich, dass die Wirkung dieser convectiv fortgeführten Elektricität nicht nur qualitativ dieselbe ist, wie die der galvanisch strömenden, sondern sie lieferte auch quantitativ die durch die Weber'sche Theorie geforderte Uebereinstimmung.

Der hierdurch geführte Nachweis, dass auch convectiv mit ihren Trägern fortgeführte Elektricität elektromagnetische Wirkungen habe, verbunden mit seinen früheren Versuchen, war aber nach der Ansicht von Helmholtz entscheidend für die Annahme, dass mit dem erweiterten Neumann'schen Potentialgesetz die Faraday'sche Hypothese zu vereinigen sei, dass die Entstehung elektrischer oder magnetischer Kraftlinien im Raume immer mit einer Entstehung diëlektrischer bezw. magnetischer Polarisation im Aether und im ponderabeln Medium verbunden ist. Da unter dieser Annahme alle elektrischen Ströme als geschlossene zu betrachten sind, so werden, insofern jene Versuche sich mit den Thatsachen als vereinbar erweisen, die Unterschiede aller derjenigen elektrodynamischen Theorien, welche für geschlossene Ströme gleiche Resultate ergeben, verschwinden.

Die Besprechung der Untersuchungen von Helmholtz über die Theorie der Elektrodynamik möge zunächst mit einer für die allgemeine Mechanik hochinteressanten Aufzeichnung aus jener Zeit geschlossen werden, die als ein Muster ruhiger Kritik, vorsichtigen Abwägens und genialer Disposition gelten darf:

„Die Anschauungsweise von Faraday ist auch der thatsächliche Kern der Maxwell'schen Theorie der Elektricität. Diese höchst umfassende Theorie, welche auch die Optik auf die Grundprincipien der Elektrodynamik reducirt und dabei eine Reihe von Schwierigkeiten der bisherigen Undulationstheorie des Lichtes und ihres fest elastischen Aethers beseitigt, ist offenbar wegen ihrer höchst abstracten Sprache, die jede hypothetisch bildliche Fassung verschmäht, noch wenig bekannt geworden. Ausserdem fehlt aber allerdings noch ihre explicite Durchführung gerade für das entscheidende Gebiet, nämlich für die Wirkungen oder Ströme in nicht geschlossenen Leitern, wobei nothwendig auch die von den bewegten elektrischen Medien auf die bewegten Leiter ausgeübten Rückwirkungen zu untersuchen sind.

Der Fortgang der Untersuchungen über mögliche elektrodynamische Hypothesen, namentlich die sehr sorgfältigen und umfassenden Untersuchungen von Herrn Clausius scheinen mir immer vollständiger zu erweisen, dass die Faraday'sche Annahme die einzige ist, welche eine Theorie der Elektrodynamik herzustellen erlaubt, die nicht mit den allgemeinsten Principien der Mechanik, von deren Geltung wir noch keine thatsächliche Ausnahme kennen, in Widerspruch tritt. Als solche allgemeine Principien, von denen dies behauptet werden kann, betrachte ich die folgenden drei:

1. Newton's Definition der Kraft in Verbindung mit dem sogenannten Gesetz vom Parallelogramm der Kräfte hat den wesentlichen thatsächlichen Inhalt, dass jede Beschleunigung eines Massenpunktes, die durch irgend welche

Bedingungen gesetzt wird, zu Stande kommt unabhängig von den gleichzeitig stattfindenden anderen Beschleunigungen desselben Massenpunktes, die durch andere Bedingungen gesetzt sind. Gleichzeitig stattfindende Beschleunigungen verbinden sich nach dem Gesetz des Parallelogramms (der geometrischen Addition). In der von Newton gegebenen Formulirung ist nun noch die Beziehung auf Massenpunkte ein über den Kreis möglicher Beobachtung hinausgreifendes Moment. Vermieden ist dies in der von Lagrange gegebenen Umformung der Newton'schen Bewegungsgleichungen, für beliebige Arten der Coordinaten und für beliebige feste Verbindungen gültig. Diese Umformung erfordert ausser den genannten Bewegungsgleichungen und den allgemeinen Sätzen der Differentialrechnung durchaus weiter keine Prämissen und macht gar keine weiteren Voraussetzungen über die Art der wirkenden Kräfte als die von Newton hingestellten.

2. Das zweite der ausnahmslos geltenden Principien ist das Newton'sche Princip von der Gleichheit der Action und Reaction, was wir, wenn wir es auf beliebig zusammengesetzte, aber der Wirkung äusserer Kräfte entzogene Massensysteme anwenden wollen, in zwei Theile zerlegen können, nämlich das Princip von der Erhaltung der Bewegung des Schwerpunktes und das von der Erhaltung der Momente der Rotationsbewegung.

3. Das dritte ist das Gesetz von der Constanz der Energie. Es ist erfüllt in der Mechanik der ponderabeln Körper für den Fall der Existenz einer Kräftefunction. Wenn wir mit einem Körpersystem zu thun haben, in dessen Innerem verschiedene an äusseren Merkzeichen vorhandene Zustände unbekannter Art eintreten können, so werden wir doch der Regel nach ermitteln können, wie viel Energie wir von aussen zuführen oder wegnehmen müssen, um einen dieser Zustände in den anderen überzuführen; selbst wenn wir nicht immer sicher bestimmen können, wie viel davon

zur Veränderung der Lage unsichtbarer Theile, wie viel für unsichtbare Bewegungen verbraucht wird. Der Energievorrath der uns bekannten Körpersysteme von endlichen Massen ist stets endlich, und weil die lebendige Kraft eine nothwendig positive Grösse ist, ist der Energievorrath in der Ruhe eines Systemes stets kleiner, als er in derselben Lage des Systems ist, wenn dessen Theilen Geschwindigkeiten mitgetheilt werden. Könnte die Energie eines Systemes in allen Phasen einer in sich zurücklaufenden Bewegung kleiner werden als im Zustande der Ruhe, so würde dasselbe, gezwungen, in dieser Ruhe zu bleiben, niemals von selbst wieder zur Ruhe kommen können, im Gegentheil bei fortdauernder Entziehung von Energie in immer schnellere Bewegung gerathen und somit eine unerschöpfbare Quelle von Energie abgeben. Das Perpetuum mobile würde dann gefunden sein. Die Mechanik der ponderabeln Körper bietet uns keinen solchen Fall, und wir können es deshalb ebenso als ein ausnahmsloses allgemeines Gesetz bezeichnen, dass der gesammte Energievorrath endlicher Körper stets endlich ist und der bewegter Systeme stets grösser als der derselben Systeme in derselben Lage in der Ruhe ist. Ich werde diesen Theil des Satzes von der Energie, wo er getrennt bezeichnet werden muss, als das Princip von der Endlichkeit der Energie bezeichnen.

Nun dürfen wir ferner als vollkommen festgestellt betrachten, dass die Wirkungen geschlossener elektrischer Ströme auf einander oder auf Magnete diesen genannten allgemeinsten mechanischen Principien entsprechen. Das Gesetz von der Action und Reaction ist durch die Rückführung auf Ampère's Anziehungskräfte der Stromelemente erfüllt. Die elektrischen Quanta und ihre Bewegungen kommen bei der Berechnung des Schwerpunktes und der Rotationsmomente nicht in Betracht, sie gelten als Quanta ohne Trägheit oder als gleich schnell in entgegengesetzter Richtung strömende Massen. Die Gültigkeit des Gesetzes

von der Constanz der Energie ist bekannt, und die für die Grösse der elektrodynamischen Energie geschlossener Stromsysteme von endlichen Dimensionen gewonnenen Ausdrücke haben stets endliche Werthe. Was die Anwendung des ersten Princips (Newton-Lagrange) betrifft, so liegt dies ebenfalls in dem Potentialgesetze fertig formulirt vor. Herr F. E. Neumann, der die zu dieser Erkenntniss nöthigen Ausdrücke klar und deutlich entwickelte, hat allerdings, so viel ich finde, die Beziehung dieser Ausdrücke auf das von Lagrange formulirte Gesetz nirgends explicite ausgesprochen. Ausdrücklich zur Grundlage der weiteren Entwickelungen ist das Princip von Lagrange mit Benutzung des Neumann'schen Werthes der Energie zuerst von Cl. Maxwell gemacht worden.

Die neuesten Arbeiten über die Theorie der Elektrodynamik zeigen nun den sehr erfreulichen Fortschritt, dass statt der bisherigen Polemik gegen die Zulässigkeit eines Potentialgesetzes, wie man die Anwendung des Princips von Lagrange bezeichnete, jetzt die Ueberzeugung von der Nothwendigkeit und Nützlichkeit eines solchen sich Bahn gebrochen hat. Herr Clausius hat die Gesetze von W. Weber und Riemann auf diese Form zurückgeführt und das von ihm selbst aufgestellte neue Grundgesetz aus derselben Form abgeleitet; unabhängig von ihm hat Herr C. Neumann (Sohn) dasselbe für das Weber'sche Gesetz gethan. Der Streit dreht sich nur noch um den Werth der Grösse, die ich mit Maxwell die elektrokinetische Energie nenne, Herr Clausius das elektrodynamische Potential.

In der Theorie von Herrn W. Weber ist die elektrokinetische Energie je zweier elektrischen Quanta proportional gesetzt dem Quadrate der Geschwindigkeit, mit der sie sich von einander entfernen; in Riemann's Theorie tritt dafür das Quadrat ihrer relativen Geschwindigkeit ein. Beide Ausdrücke machen das elektrodynamische Potential relativ zu einander sich bewegender gleichnamiger elektrischer

Quanta negativ, woraus folgt, dass sie gegen das Princip der Endlichkeit der Energie verstossen. Riemann's Ausdruck verstösst auch gegen das Gesetz von der Erhaltung der Rotationsmomente, wie sich aus der Berechnung der Kraftcomponenten ergiebt. Die Hypothese von Herrn Clausius dagegen macht die elektrokinetische Energie abhängig von der absoluten Geschwindigkeit und widerspricht, wie Herr Clausius selbst zugegeben hat, dem Gesetz von der Gleichheit der Action und Reaction, und zwar sowohl dem Gesetz von der Erhaltung der Bewegung des Schwerpunktes wie dem von der Erhaltung der Rotationsmomente. Einen wesentlichen Vorzug hat das von Herrn Clausius aufgestellte elektrodynamische Potential dadurch, dass es eine nothwendig immer positive Grösse ist, die Clausius'sche Hypothese wird also auch nicht labiles Gleichgewicht der Elektricität in ruhenden Leitern oder die verkehrte Wirkung äusserer beschleunigender Kräfte ergeben können, wie sie aus der Weber'schen Hypothese als möglich folgen.

Dass das negativ genommene Neumann'sche Potential, als Werth der elektrokinetischen Energie gebraucht, gegen keinen der genannten allgemeinsten mechanischen Grundsätze verstösst, ist in meinen bisherigen Arbeiten über Elektrodynamik erwiesen worden; über das Gesetz von der Erhaltung der Kraft ist darin ausführlich gehandelt worden, die ponderomotorischen Kräfte, die es ergiebt, sind nur anziehende oder abstossende, welche auf beide Endpunkte gleich stark wirken. In meinen Augen ist das immer als ein methodischer Vortheil des Neumann'schen Potentials vom allerhöchsten Gewicht erschienen, und dies war der Grund, warum ich nur diese Form des Potentials in meinen bisherigen Arbeiten berücksichtigt habe. Ich habe zu verschiedenen Zeiten versucht, Formen nach Analogie des Weber'schen Potentials zu finden, die in besserer Uebereinstimmung mit dem Gesetze von der Erhaltung der Kraft

wären, und keine gefunden. Aber allerdings habe ich die Gleichheit der Action und Reaction als conditio sine qua non festgehalten.

Ich betrachte die genannten allgemeinen mechanischen Principien freilich nur als durch Induction gefunden und einen auf sie gestützten Beweis also auch nur als einen Inductionsschluss; aber allerdings als einen solchen, der unter diesen Umständen den höchsten Grad von Wahrscheinlichkeit ergiebt, der überhaupt nur durch Inductionsschlüsse unter den günstigsten Umständen gewonnen werden kann. Die Erwartung, dass in den nächsten 24 Stunden in Berlin es einmal Nacht und einmal Tag werden wird, stützt sich auf ein viel engeres Gebiet von Beobachtungen als es die allgemeinen Principien der Mechanik thun. Und obgleich jene Principien zunächst von der Mechanik der ponderabeln Körper abstrahirt sind, so haben sie sich bisher doch auch in dem ganzen, schon sehr eingehend durchgearbeiteten Gebiete der Elektrostatik und bei den verhältnissmässig kräftigen Wirkungen der geschlossenen elektrischen Ströme ebenfalls als vollständig zutreffend bewährt. Dass sie nun in dem unmittelbar mit dem letzteren zusammenhängenden Gebiete der Ströme in nicht geschlossenen Leiterkreisen nicht zutreffen sollten, würde ich erst dann vorauszusetzen wagen, wenn gar kein anderer Ausweg mehr zu finden wäre.

Das Neumann'sche Potentialgesetz in seiner bisher auf die elektrischen Bewegungen in Leitern beschränkten Anwendung, welches einen solchen Ausweg nach einwurfsfreier Methode zu bieten schien, ist aber durch Versuche als unzureichend erwiesen. Die unter diesen Umständen zunächst gebotene Frage scheint mir die zu sein, ob durch Erweiterung seiner Voraussetzungen die Uebereinstimmung mit den Versuchen hergestellt werden kann. Eine solche Erweiterung ist durch Faraday's Voraussetzung der dïelektrischen Polarisirbarkeit des raumfüllenden Mediums, welches

wir kurzweg den Aether nennen wollen, gegeben. Da nun die elektrische Polarisirbarkeit von ponderabeln isolirenden Medien, die magnetische von paramagnetischen ponderabeln Medien allgemein anerkannt ist, und nach dem Gelingen des Rowland'schen Versuches kaum noch ein Zweifel bei den Physikern darüber bestehen wird, dass die bei der Entstehung diëlektrischer Polarisation vor sich gehende elektrische Bewegung elektrodynamische Wirkungen haben wird, so reducirt sich die thatsächliche Frage, wenn wir von der verschiedenen theoretischen Ausdrucksweise absehen, in der That auf die Frage nach dem Werthe zweier Constanten. Ich habe in meiner ersten Arbeit über Elektrodynamik schon hervorgehoben, dass die Phänomene der elektrostatischen und magnetischen Vertheilung ungeändert bleiben, wenn nur das Verhältniss der den einzelnen Körpern beigelegten diëlektrischen und magnetischen Constanten ungeändert bleibt. Für den von ponderabeln Körpern freien Raum hat man die betreffenden Constanten, von der theoretischen Annahme einer reinen Fernwirkung der elektrischen und magnetischen Kräfte ausgehend, gleich 1 gesetzt. Die Versuche über die elektromagnetische Induction im rotirenden Condensator und die über die elektromagnetische Wirkung convectiv fortgeführter Elektricität sind aber mit dem Neumann'schen Potentialgesetz nur unter der Annahme in Uebereinstimmung zu bringen, dass jene Constante auch im Aether schon viel grösser als 1 sei, d. h. dass auch im Aether schon die etwa vorhandene directe Fernwirkung der elektrostatischen und magnetischen Kräfte gegen die durch die Spannung des Mediums übertragene verhältnissmässig unbedeutend sei. Nach Faraday's und Maxwell's Annahme verschwinden sie ganz und gar; beide erkennen gar keine directe Fernwirkung mehr an. Es schien mir unter diesen Umständen geboten, Maxwell's Untersuchungen in der Richtung zu vervollständigen, dass ich die Consequenzen der Faraday'schen Hypothese für un-

geschlossene Leiterkreise discutirte. Es erschien mir praktisch unnöthig, die Untersuchung dadurch verwickelter zu machen, dass ich die vielleicht nur sehr hohen, aber im Verhältniss zur Einheit noch endlichen Werthe der diëlektrischen und magnetischen Constante des Aethers wie früher festhielt. Ich bleibe bei der weiteren Durchführung der Untersuchung bei dem Neumann'schen Potential stehen, weil die nach diesem ausgeführten Rechnungen verhältnissmässig viel einfacher sind, als die aus den anderen Ausdrücken hergeleiteten, und weil wir ferner bei der Rechnung mit diesem Potential von vorn herein sicher sind, gegen keines der allgemeinen mechanischen Principien zu verstossen."

Am Anfange des Jahres 1873 trat an Helmholtz die Versuchung heran, einer Einladung Knapp's folgend, in Amerika eine Reihe öffentlicher Vorlesungen zu halten; aber nach ruhiger und reiflicher Ueberlegung schreibt er demselben am 5. Januar 1873:

„Das Berliner Treiben macht mich schon sehr müde, so dass ich nach beendetem Semester vor allen Dingen den Wunsch zu haben pflege, keine Menschen mehr sehen zu müssen und meine Gedanken sammeln zu können an einem stillen Orte. Von allem diesem wäre Amerika ungefähr das gerade Gegentheil. Und was meine Vorlesungen betrifft, so habe ich mich doch überzeugt, dass ich wohl sachverständigen Leuten wissenschaftliche Dinge in trockener sachlicher Weise auseinandersetzen kann, aber ich habe nicht Herrschaft genug über die Sprache, um dasselbe so zu thun, dass ich ein grösseres Auditorium von nicht fachmässig Gebildeten fesseln könnte. Dabei kostet mir die Ausarbeitung in der fremden Sprache doppelte Zeit, und selbst wenn ich die Hülfe eines Engländers dabei habe, wird es doch Flickwerk. Ich habe noch mancherlei, was ich für die Wissenschaft thun möchte, und darf nicht mehr allzu viel Zeit verlieren. Ich fange desshalb an zu glauben, dass ich in diesem Leben nicht mehr nach Amerika kommen werde."

Er hatte in der That schon neben seinen grossen und umfassenden elektrischen Arbeiten um diese Zeit seine aerodynamischen Untersuchungen begonnen, deren erste Resultate er unter dem Titel „Ueber ein Theorem, geometrisch ähnliche Bewegungen flüssiger Körper betreffend, nebst Anwendungen auf das Problem, Luftballons zu lenken“ am 26. Juni 1873 der Akademie vorlegte.

Die Grösse des Widerstandes, welchen Luft oder Wasser einem sich durch sie hinbewegenden Körper von complicirter Gestalt entgegensetzt, kommt wesentlich in Betracht, wenn es sich darum handelt, ein Schiff oder einen Ballon zu construiren, welche durch Vermittelung irgend welcher Bewegungsapparate fortbewegt werden sollen. Da der Widerstand des Wassers oder der Luft gegen die Ruder, Schaufeln, Schrauben die forttreibende Kraft, derselbe Widerstand gegen den Körper des Schiffes oder des Ballons aber die widerstehende Kraft angiebt, so wird von dem Verhältniss dieser beiden Kräfte die Geschwindigkeit der erreichbaren Fortbewegung abhängen. Doch war die mathematische Analyse noch selten im Stande gewesen, aus den für die Bewegung tropfbarer und gasartiger Flüssigkeiten mit Berücksichtigung des Druckes und der Reibung aufgestellten Differentialgleichungen die den Bedingungen des gegebenen besonderen Falles angepassten Integrale zu finden, aus denen jene Widerstände berechnet werden können. Andererseits liegen aber für die Schiffe bei den mannigfachsten Constructionsformen reiche Erfahrungen vor, da wir die Grösse der Kraft kennen, welche nöthig ist, um einem Boot oder Schiff eine gewünschte Geschwindigkeit zu ertheilen, und wir auch schon die vortheilhaftesten Formen für die Schiffskörper sowie für die Grösse und Gestalt der Bewegungsorgane gefunden haben; für die Luft dagegen konnten, abgesehen von den noch wenig vorgeschrittenen Versuchen mit Ballons, nur die Vögel als Beispiele für derartige Fortbewegungsmaschinen gelten. Diese Ueberlegung führte Helmholtz dazu, durch

Anwendung der allgemeinen, für Flüssigkeiten und Gase geltenden hydrodynamischen Gleichungen die an Schiffen gemachten Erfahrungen auf die entsprechende Aufgabe für die Luft zu übertragen. Er zeigt auf streng mathematischem Wege, dass es möglich ist, Beobachtungsresultate, welche an einer Flüssigkeit und an Apparaten von gewisser Grösse und Geschwindigkeit gewonnen worden sind, zu übertragen auf eine geometrisch ähnliche Masse einer anderen Flüssigkeit und auf Apparate von anderer Grösse und anderer Bewegungsgeschwindigkeit, und er stellt das Verhältniss fest, nach welchem die Geschwindigkeiten, der Druck und die aufzuwendende Energie vergrössert werden müssen, wenn das Verhältniss der physikalischen Constanten der Flüssigkeiten gegeben ist.

Die Anwendung dieses Princips bietet freilich die Schwierigkeit, dass unter der Einwirkung von Druck die Dichte der Luft merklich verändert wird. Da die Luft jedoch nach allen Seiten hin frei entweichen kann, und sich zeigt, dass gerade mit den geringeren Geschwindigkeiten der Flügel oder Schrauben die vortheilhaftesten Resultate zu erzielen sind, so kommen nur diejenigen Druckunterschiede in Betracht, welche durch die Beschleunigungen der bewegten Lufttheile bedingt sind, und diese sowie die von ihnen abhängige Volumenänderung der Luft brauchen, wie Helmholtz zeigt, nicht berücksichtigt zu werden, so lange die erzeugten Geschwindigkeiten im Vergleich mit der Schallgeschwindigkeit zu vernachlässigen sind. Er folgert unter anderem, dass die Grösse der Vögel eine Grenze haben muss, wenn nicht die Muskeln in der Richtung weiter ausgebildet werden können, dass sie bei derselben Masse noch mehr Arbeit leisten als jetzt. Die Natur hat deshalb wahrscheinlich im Modell des grossen Geier schon die Grenze erreicht, welche für die Grösse eines Geschöpfes erlangt werden kann, das sich durch Flügel selbst heben und längere Zeit in der Höhe verbleiben soll. Der Mensch hat daher

nach seiner Ansicht wohl keine Aussicht, durch den geschicktesten flügelähnlichen Mechanismus, den er durch seine Muskelkraft zu bewegen hätte, sein Gewicht in die Höhe zu heben und dort zu erhalten. Wendet man das Helmholtz'sche Princip für die Vergleichung der Luftballons und der Schiffe an, so ergiebt sich das interessante Resultat, dass, wenn der Ballon etwa anderthalbmal so viel wiegt als die arbeitenden Menschen, welche er trägt, das Verhältniss zwischen Arbeitskraft und Gewicht dasselbe wäre, wie wir es in einem Kriegsdampfer dargestellt sehen.

„Dass man Luftballons“, sagt Helmholtz in einem Bericht vom 1. März 1878, „durch mechanische Mittel, die den zur Fortbewegung der Schiffe gebrauchten ähnlich sind, bei windstillem Wetter vorwärts treiben und lenken kann, ist theoretisch evident und durch Versuche, namentlich von Dupuy de Lôme, erwiesen. Dass man mit hinreichend grossen Ballons auch ganz ausreichende Geschwindigkeiten würde erreichen können, ergiebt die Rechnung. Ich erlaube mir in dieser Beziehung die von mir im Jahre 1873 darüber verfasste kleine Abhandlung beizulegen. Ich bin dem zu Folge der Meinung, dass eine blosse Variation und Zusammenhäufung der zur Fortbewegung von Schiffen angewendeten Mittel am Ballon keine neue Erfindung im Sinne des Gesetzes ausmache.“

Noch bis zuletzt hält er seine im Jahre 1873 in der oben erwähnten Arbeit ausgesprochene Ansicht aufrecht; so äussert er sich am 9. März 1894 in amtlicher Eigenschaft folgendermaassen:

„Die Ergebnisse meiner eigenen Studien und Ueberlegungen über dieses Thema habe ich schon im Jahre 1873 unter dem 26. Juni zusammengestellt und der Königl. Akademie der Wissenschaften mitgetheilt, von welcher Abhandlung Abdrücke sich jedenfalls auch in den Acten des Königl. Cultusministeriums befinden werden unter den Berichten, die ich als Vorsitzender der damals zur Untersuchung der

Gesetze des Luftwiderstandes eingesetzten Commission verfasst habe. Unter Beziehung auf diese Abhandlung, deren Resultate seither durch alle späteren Erfahrungen, von denen ich gehört, bestätigt worden sind, hoffe ich, dass die weiteren Verhandlungen mit der Commission über diejenigen Fragen, über die ich ein Urtheil abzugeben im Stande bin, sich leicht werden schriftlich führen lassen, wozu ich gern bereit bin.“

Am Ende des Sommersemesters 1873 reiste seine Frau mit den Kindern in die badische Heimath, während Helmholtz den Monat Juli, mit Arbeiten überhäuft, ziemlich einsam in Berlin zubrachte:

„Gestern Abend war ich allein zu Haus und wurde durch Heyse's Novelle darauf geführt, Schopenhauer's Aufsatz über die Frauen zu suchen, fand aber nur das Kapitel über die Liebe, welches ich auf dem Balkon mit der Lampe gelesen habe. Es ist ein gescheuter Kerl, aber er hat eine wahre Lust am Gemeinen und geht absichtlich jeder höheren Auffassung aus dem Wege, wenn sie auch noch so nahe liegt.“

Am 3. August schreibt er seiner Frau:

„Ich blieb im Hause, habe mich noch für die letzten Stunden meines mathematischen Collegs vorbereitet und schliesslich Zeller's Kirche und Staat ausgelesen. Ich muss sagen, dass das Buch mir interessant gewesen ist, trotzdem es übermässig viel besprochene Gegenstände behandelt. Ich habe noch nichts so Vernünftiges und Wohlbegründetes darüber gelesen. Am Vormittag erschien Mr. Theodor Steinway und erklärte mir, er wünsche an unserem Flügel seine neueste Verbesserung der hohen Saiten anzubringen, wenigstens soweit es noch bei einem älteren Instrumente möglich sei. Diese besteht darin, dass er an dem Stücke der Saiten, was auf der Seite der Tastatur nicht mehr klingt, zwischen dem Wirbel und dem Befestigungspunkt noch einen zweiten Steg angebracht hat,

der Saitenstücke abgrenzt, die gewisse Obertöne der ganzen Saite geben. . . . Die bisher etwas trockenen hohen Noten scheinen in der That voller und klingender geworden zu sein. Die höchsten Töne des Flügels haben wirklich gewonnen, und man kann den Unterschied noch jetzt hörbar machen, wenn man die freigemachten Saitentheile wieder dämpft. . . . .“

Mit Beginn der Ferien reiste er wie gewöhnlich nach Pontresina, und nachdem das Engadin ihn wieder von allerlei Herzbeschwerden befreit hat, ging er mit seiner Frau zum Besuche der Ausstellung nach Wien, und dann allein zum ersten Mal nach Florenz, von wo er seiner Frau begeisterte Schilderungen sendet von alle dem, was Natur und Kunst ihm bieten.

„. . . . Ich bin ganz verzaubert und hingerissen von dieser Fülle und Schönheit — was wir in Deutschland sehen, sind doch nur ärmliche Bruchstücke, hier sind die Hauptstücke der Meister in unerschöpflicher Fülle. . . . . Fra Angelico ist hinreissend liebenswürdig in dem, was er wirklich durchgeführt hat — dann sind Sachen von Perugino in der Akademie, die an Farbengluth und Ausdruck den besten Raphaels ganz nahe kommen, höchst wunderbare Sachen von einem Mariotto Albertinelli, aus der Zeit des Raphael, von dem ich nie gehört oder etwas gesehen hatte, tief und ausdrucksvoll und von grösster Farbenpoesie. . . . .“

Der kurze Aufenthalt in Florenz gestattet ihm nur noch, die Gallerie der Ufficien zu besuchen, die er nach fünfstündigem Studium „fast ohnmächtig von Müdigkeit und Hunger“ verlässt, um gegen Sonnenuntergang noch über die Anhöhen der Südseite einen herrlichen Spaziergang um die Stadt zu machen. Nachdem er noch auf dem Rückwege, wie er es verabredet, mit Beltrami in Bologna zusammengetroffen war, um mancherlei geometrische Speculationen und mathematisch-physikalische Probleme mit dem-

selben zu besprechen, holte er seine Frau aus Wien ab, welche dort zum Besuche ihrer Schwester, der Frau des Sectionschefs von Schmidt-Zabiérow, nachherigen Landespräsidenten von Kärnthen, sich aufhielt, und reiste über München nach Berlin zurück.

Schon am Ende des Sommersemesters und im Laufe der Herbstferien beschäftigten ihn neben seinen elektrodynamischen Untersuchungen äusserst wichtige Probleme der physikalischen Optik, über die er zunächst am 20. October 1873 der Akademie eine kurze Mittheilung „Ueber die Grenzen der Leistungsfähigkeit der Mikroskope“ vorlegte, deren ausführliche Bearbeitung unter dem Titel „Die theoretische Grenze für die Leistungsfähigkeit der Mikroskope“ in dem Jubelband der Poggendorff'schen Annalen 1874 erschien. Seine Forschungen und Resultate begegneten sich mit denen des grössten Meisters in diesem Zweige der Optik, Herrn Abbe in Jena.

Helmholtz griff die für alle Zweige der Naturwissenschaften überaus wichtige Frage an, wie weit die Leistungsfähigkeit der Mikroskope noch gesteigert werden könne, und hebt hervor, dass die Fortschritte in derselben bereits bei einem Zustande angekommen wären, wo jede kleinste neue Verbesserung nur noch durch einen unverhältnissmässigen Aufwand von geistiger und mechanischer Arbeit zu erreichen sei. Während der Grund dafür immer nur in der etwas allgemein gehaltenen Vorstellung gesucht wurde, dass die sphärische Abweichung kleiner und stark gekrümmter Linsen schwer zu beseitigen ist, berücksichtigt Helmholtz die Diffraction und Helligkeit als wesentliche Momente der Untersuchung. Er hatte bereits in seiner physiologischen Optik einem von Lagrange für beliebige Zusammenstellungen unendlich dünner Linsen aufgestellten Satze die einfache Form gegeben, dass das Product aus dem Divergenzwinkel eines beliebigen Strahles mit der Axe, dem Brechungsverhältniss des Mediums, durch welches er sich zur Zeit bewegt, und

der Grösse des Bildes, welchem die durch das betreffende Medium sich bewegenden Strahlen angehören, bei jeder Brechung in einem centrirten Systeme kugeliger brechender und spiegelnder Flächen unverändert bleibt, wenn überhaupt die Bedingungen für die Entwerfung genauer Bilder eingehalten sind. Daraus, dass das bezeichnete Product nach dem Austritt der Strahlen aus dem System noch denselben Werth hat, wie vor dem Eintritt in dasselbe, konnte er nun zunächst nach bekannten Gesetzen der Photometrie schliessen, dass, wenn Object und Bild in demselben Medium liegen, die Helligkeit eines Bildes, welches durch Strahlen entworfen wird, die mit der Axe und den Einfallslothen sehr kleine Winkel machen, der Helligkeit des Objectes immer nur gleich sein kann. Aber Helmholtz konnte sich nun auch von der Beschränkung der sehr kleinen Winkel frei machen. Er fand, dass die Helligkeit des Instrumentes gleich der des freien Auges ist, wenn die Vergrösserung gleich oder kleiner ist als die Normalvergrösserung, d. h. diejenige, bei welcher der Lichtkegel die Pupille gerade ausfüllt; dagegen wächst bei gleichbleibender Divergenz der einfallenden Strahlen die Helligkeit umgekehrt mit der Vergrösserung der Flächen, wenn diese grösser als die Normalvergrösserung ist. Es ist somit die Beziehung zwischen Helligkeit und Vergrösserung gänzlich unabhängig von der besonderen Construction des Instrumentes, und eine Steigerung der Vergrösserung daher nur möglich unter Anwendung sehr viel stärkeren Lichtes; die Dunkelheit des mikroskopischen Bildes wird also steigen mit zunehmender Vergrösserung.

Helmholtz findet ferner, dass bei zusammengesetzten Mikroskopen die Diffraction viel stärkere Abweichungen der Strahlen von ihrem Brennpunkte hervorbringt als die chromatische und sphärische Aberration, und er unterwirft daher auch diese einer genauen Untersuchung. Wenn die Grösse der kleinsten wahrnehmbaren Objecte beurtheilt wird nach dem Abstande je zweier hellen Linien, die noch

als getrennt von einander erkannt werden können, so wird diese Grösse derjenigen gleichgesetzt werden dürfen, welche im vergrösserten Bilde des Objectes gleich der Breite der äusseren Diffractionsfransen eines jeden hellen Punktes ist. Eine im Object vorhandene Länge wird also, wenn sie im vergrösserten Bilde gleich der Fransensbreite erscheint, nicht mehr als besondere Länge wahrnehmbar sein. Da nun die Grösse nur von dem Divergenzwinkel der einfallenden Strahlen, und nicht von der Construction des Instrumentes abhängt, und mit enger werdendem Strahlenkegel die durch die Diffraction bedingte Undeutlichkeit des Bildes wächst, so ergiebt sich die Grenze für die uns noch sicher wahrnehmbaren Grössenunterschiede im Allgemeinen gleich der halben Wellenlänge der benutzten Lichtart. Eine weitere Steigerung des optischen Vermögens über das der besten neueren Instrumente hinaus erscheint somit nicht möglich.

Eine andere wichtige physikalisch-optische Arbeit legte Helmholtz der Akademie unter dem Titel „Zur Theorie der anomalen Dispersion“ am 29. October 1874 vor, die ihn, nachdem er von einer längeren Schweizer Reise zurückgekehrt war, während des letzten Monats beschäftigt hatte. Er schliesst sich in derselben im Princip der zur Erklärung der anomalen Dispersion aufgestellten Hypothese von Sellmeier an, welcher ponderable, in den Aether eingelagerte Molekel annimmt, die des Mitschwingens fähig sind; dieser war jedoch nicht im Stande, den Fall zu behandeln, in dem die eigene Schwingungsperiode der mitschwingenden Moleküle der Periode der Lichtoscillationen gleich wird. Weil nun die Dispersion wesentlich durch die Absorption bedingt wird, nimmt Helmholtz zunächst als Ursache der Absorption einerseits das Mitschwingen der ponderabeln Masse an, welche aus einer zwischen Aether und ponderabeln Atomen bestehenden elastischen Kraft hervorgeht, andererseits aber auch einen Reibungswiderstand, welchen die schwingenden ponderabeln Theilchen an der nicht mitschwingenden ponderabeln Masse erleiden; diese

Reibungskraft wird wie bei langsamen Schwingungen eines Pendels und tönender Körper der Geschwindigkeit proportional gesetzt. Ist nur eine Art ponderabler Atome vorhanden, und sieht man den Aether und die ponderabeln Moleküle als zwei continuirliche, sich gegenseitig durchdringende Medien an — was erlaubt ist, wenn die Entfernungen der ponderabeln Theile von einander verschwindend klein sind gegen die Wellenlänge —, so ergeben sich aus der Differentialgleichung der Aetherbewegung und der Bewegungsgleichung der mitschwingenden Atome dieselben Gleichungen für die Fortpflanzungsgeschwindigkeit und die Absorptionsconstanten, welche Ketteler bereits aus Beobachtungen gefolgert hatte. Diese liefern für den Fall der schwachen Lichtabsorption, wie sie die Lösungen der Farbstoffe mit anomaler Dispersion aufweisen, eine genügende Uebereinstimmung mit den Beobachtungen. Für einen stärkeren Grad der Absorption stellt die Theorie in der Nähe des Absorptionsmaximums die Erscheinungen gut dar; den Beobachtungen entsprechend erreicht die Curve der Brechung vor dem Maximum der Absorption ein Maximum, hinter dem Absorptionsmaximum ein Minimum und fällt continuirlich von ersterem zum letzteren. Bei Farben, welche sehr weit vom Absorptionsmaximum entfernt sind, müssen jedoch neue Annahmen für die Structur des Aethers im Körper zu Hülfe genommen werden. Helmholtz zeigt endlich, dass die Ausdehnung der Theorie auf Medien mit einer grösseren Anzahl von Absorptionsstreifen keinen erheblichen Schwierigkeiten unterliegt, wenn man nur verschiedene Arten mitschwingender ponderabler Massen voraussetzt.

C. Dieterici hatte zum Zwecke der experimentellen Prüfung der Sellmeier-Helmholtz'schen Theorie eine Reihe von Folgerungen aus diesen Annahmen gezogen und dieselben Helmholtz brieflich mitgetheilt. Nach diesen sollte dann die Absorption des Lichtes bei sehr kurzer Belichtung grösser sein als bei dauernder Durchstrahlung, weil kurze

Lichtstösse ganz dazu benutzt werden müssten, die ponderabeln Theile in Mitschwingen zu versetzen; erst nach gewisser Zeit müsse ein Zustand dynamischen Gleichgewichts eintreten und dann erst der Absorptionscoefficient constant sein. Helmholtz wollte diese Folgerungen in ihrer Allgemeinheit jedoch nicht anerkennen:

„Wenn schwere Molekeln da sind“, schreibt er an Dieterici am 21. Februar 1892, „die den Lichtschwingungen Energie entnehmen müssen, um in Mitschwingen zu gerathen, so werden sie auch nothwendig bei Unterbrechung der Strahlung dieselbe Menge Energie wieder an den Aether abgeben müssen, abgesehen von dem Reibungsverlust dieser Energie während des Ausschwingens. Was aber beim Ausschwingen durch Reibung verloren geht, wird beim Anfang der Schwingungen, wo diese noch nicht ihre volle Stärke haben, erspart, wahrscheinlich in gleichem Betrage. Die Berechnung ist etwas complicirt, da Anfangs auch noch abnehmende Eigenschwingungen des mitschwingenden Molekels eintreten. Da Sie nun bei Ihren vorgeschlagenen Beobachtungen nur die gesammte Menge der durchgegangenen Schwingungsenergie messen können, so bekommen Sie jedenfalls die Energie des Ausschwingens mit und dürfen nicht darauf rechnen, dass die Arbeit, die das Mitschwingen erregt, merkbar wird, denn diese wird wiedergewonnen, und die anfänglichen Ersparnisse an Reibung werden wahrscheinlich nachher wieder vollständig verloren gehen für den Durchschnitt der Molekeln.“

Dieterici hob freilich dagegen hervor, dass das Ausklingen der in Bewegung versetzten ponderabeln Theile nach allen Richtungen des Raumes hin erfolge, nicht allein in Richtung des Lichtstrahles, dass also die in einer Richtung auffallende und absorbirte Energie nach allen Richtungen des Raumes hin zerstreut werde, doch unterblieb die experimentelle Verfolgung wegen der grossen technischen Schwierigkeiten.

Um diese Zeit begann aber auch Helmholtz schon die Vorstudien zu seinen meteorologischen Arbeiten und trat zunächst mit einem gemeinfasslichen Vortrage über „Wirbelstürme und Gewitter“, den er im Jahre 1875 in Hamburg hielt, in die Oeffentlichkeit. Nachdem er die mechanischen Verhältnisse dargelegt, aus denen hervorgeht, dass der beständige Wechsel unserer Witterungsverhältnisse, wie Dove schon weit früher bis ins Einzelne nachgewiesen, auf dem gegenseitigen Verdrängen kühler, trockener Polarwinde und warmer, feuchter Aequatorialwinde beruht, geht er näher auf die Untersuchung derjenigen Luftbewegungen ein, welche die Regelmässigkeit der tropischen Witterung unterbrechen, der Orkane oder Wirbelstürme.

Nach einer brieflichen Mittheilung von Helmholtz lenkte eine zufällig vom Gipfel des Rigi aus sich darbietende Wolken- und Gewitterbildung seine Aufmerksamkeit auf diese Naturerscheinungen und führte ihn zu dem merkwürdigen Versuche, in welchem durch eine kreisende Wassermasse eine senkrechte mit Luft gefüllte Röhre sich bildet, genau von der Form, in der man die Wasserhosen darzustellen pflegt. Auch die Stürme treten in Wirbelform auf, und im Centrum eines solchen Wirbels findet sich in der Regel ein Raum mit geringer Luftbewegung. Während der Sturm die Richtung der Rotation der Erde hat, zeigt die dem Aequator zugekehrte Seite der Stürme immer Westwind; kommen nun trockene und feuchte Luft zusammen, so können sich, wie Reye nachgewiesen, grosse Luftmassen ansammeln, die anfangs im stabilen Gleichgewicht, bei eintretenden Temperaturänderungen allmählich ins labile Gleichgewicht übergehen. Nebelige und trockene Luft nämlich, die über oder neben einander gelagert sind, können solche Temperaturen haben, dass sie in der mittleren Höhe der Atmosphäre gerade gleich schwer sind; in diesem Falle wird in der unteren Hälfte des Luftkreises, wo der Druck grösser ist, die nebelige Luft die dichtere werden und zu Boden sinken, während in

der oberen Hälfte der Atmosphäre dieselbe nebelige Luft bei geringerem Drucke sich mehr ausdehnt, als die trockene, leichter wird und aufsteigt. Das zuerst stabile Gleichgewicht wird somit, da durch fortgesetzte Wirkung der Sonne die untere Schicht heisser und feuchter wird, die obere durch Strahlung gegen den Weltraum an Wärme verliert, allmählich in das labile Gleichgewicht übergehen. Wird nun das Gleichgewicht an einer Stelle durchbrochen, wodurch diese Stelle durch die aufsteigende leichtere nebelige Luft geringeren Druck bekommt, so wird die untere Luft heranströmen und selbst in die aufsteigende Strömung gerissen, während ringsum, wo das Gleichgewicht noch stabil war, dieses durch die Entleerung der feuchten Luft und Senkung der oberen Grenzfläche derselben noch sicherer wird; das Aufsteigen wird andauern, bis die ganze untere feuchte Schicht sich gehoben hat. Bei der Besprechung der Gewitter bezeichnet Helmholtz als Quelle der elektrischen Entladungen den Vorrath negativer Elektricität, mit dem die Erde dauernd geladen ist. Schliesslich hebt er noch die Schwierigkeit bei der Voraussagung des Wetters und der Luftströmungen in der Atmosphäre hervor:

„Ueberhaupt ist zu bemerken, dass wir nur solche Vorgänge in der Natur voraus berechnen und in allen beobachtbaren Einzelheiten verstehen können, bei denen kleine Fehler im Ansatze der Rechnung auch nur kleine Fehler im Endergebniss hervorbringen. Sobald labiles Gleichgewicht sich einmischt, ist diese Bedingung nicht mehr erfüllt. So besteht für unsern Gesichtskreis noch der Zufall; aber es ist in Wirklichkeit nur der Ausdruck für die Mannigfaltigkeit unseres Wissens und die Schwerfälligkeit unseres Combinationsvermögens. Ein Geist, der die genaue Kenntniss der Thatsachen hätte, und dessen Denkoperationen schnell und präcis genug vollzogen würden, um den Ereignissen voraus zu eilen, würde in der wildesten Launenhaftigkeit des Wetters nicht weniger als im Gange der Gestirne das harmonische Walten

ewiger Gesetze anschauen, das wir nur voraussetzen und ahnen.“

Am 4. November 1875 traf Helmholtz und die Seinen ein schwerer Verlust. Robert von Mohl, wenige Tage zuvor zu den Reichstagssitzungen in Berlin eingetroffen, erlag daselbst einem Herzschlag. „Dass er viel mehr gelitten, als irgend Jemand wusste, dass er im vollen Bewusstsein, der letzten Stunde entgegen zu gehen, abreiste, das kommt jetzt nach und nach zu Tage. Er hat es gewusst, dass die Zeit naht und ist doch allein geblieben und gestorben; die Wehmuth darüber wird mich nie verlassen“, schreibt seine Tochter aus Karlsruhe, wohin sie zur Beerdigung des geliebten Vaters geeilt war. Helmholtz verbrachte jene Tage der Trauer in stiller Zurückgezogenheit mit seinen Kindern — für seine tiefernste Stimmung sucht er nur den Wiederhall in der Musik. Nach einem von Joachim's Quartettabenden schreibt er:

„Beethoven's Op. 130, ungeheuer gross und ernst, aber tieftraurig, wurde mir erst heute ganz durchsichtig. Das Adagio haben sie über alle Maassen schön gespielt; es ist wie ein weinendes Träumen von den verlorenen Idealen und vielleicht das Urbild von Tristan's Liebestod, formloses Wogen der unendlichen Melodie.“

Das Jahr 1876 brachte die ersten Bayreuther Festspiele, denen auch Helmholtz mit seiner Frau beiwohnte. Beide waren von der allgemeinen Begeisterung ergriffen, welche das Neue und Gewaltige der Schöpfungen Richard Wagner's der gesammten musikalischen Welt abgerungen, „sie reihten sich in die Zahl begeisterter Freunde des Meisters und bahnten Geistes- und Herzensbeziehungen an, welche, fördernd und beglückend, gegenseitig ein theurer Lebensbesitz werden mussten“. Nachdem Helmholtz Bayreuth verlassen, um in den Schweizer Bergen Erholung zu suchen, schreibt ihm seine Frau am 30. August darüber:

„Ausser den Leuten, die nicht dort waren, kann doch

Niemand das Grosse und Gewaltige des Werkes leugnen. Das Schöpferische und wahrhaft Grosse wird der Mittelmässigkeit stets unsympathisch sein; armseliger als die deutsche Kritik mit ihrem Cothurn und ihrem frostigen Nichtanerkennen ist mir nie etwas erschienen. Zum Glück werden diese Herren mit ihrer Unfruchtbarkeit nicht das siegreich Entstandene hemmen können.“

Die Vielseitigkeit von Helmholtz wird immer grösser, die Höhe der Anschauung und Auffassung wissenschaftlicher Probleme immer staunenswerther. Jede neue Erscheinung verfolgt er mit dem grössten Interesse und ist stets gern bereit, in ausführlichen Briefen seine Ansichten darüber kund zu geben. Als ihm Kühne am Anfange des Jahres 1877 seine Optogramme überschickte, nahm er dessen Entdeckung mit Begeisterung auf und legte dieselben unmittelbar nach deren Empfang der Akademie vor; er schreibt ihm am 13. März 1877:

„Ich habe mich ungeheuer gefreut über diesen Fund; ich hatte mir immer hypothetisch eine photochemische Wirkung in der Netzhaut gedacht, aber nie daran gedacht, dass man sie würde nachweisen können. Nun bin ich neugierig auf die Farbenwirkung. Boll hat schon der hiesigen Akademie und den Lincei Mittheilungen darüber gemacht. Rothes Licht soll das Roth verstärken, blaues Licht es ausblassen, daneben unterscheidet er aber noch grünliche Stäbchen zwischen den rothen, die durch grünes Licht intensiver werden sollen. Ob das Grün mehr als ein Contrast ist, ist mir noch fraglich; aber dass anders gefärbte und ungefärbte Stäbchen zwischen den rothen lagen, habe ich bei seinen Demonstrationen im vorigen Sommer hier selbst gesehen.“

Und all' die ausgebreitete wissenschaftliche Bethätigung hinderte ihn nicht, als nach dem Tode Poggendorff's in demselben Jahre die Leitung der Annalen der Physik und Chemie auf G. Wiedemann überging, der Redaction, nach

der eigenen Aussage Wiedemann's, stets hülfsbereit zur Seite zu stehen und derselben über jede eingereichte Arbeit mathematisch-physikalischen Inhalts ausführliche schriftliche Gutachten abzugeben.

Nachdem er noch am 24. Juli 1877 zum Professor der Physik an der „medicinisch-chirurgischen Akademie für das Militär", durch welche er selbst seinen Bildungsgang genommen, ernannt worden war, hielt er am 2. August dieses Jahres zur Feier des Stiftungstages der militär-ärztlichen Bildungsanstalten eine Rede „das Denken in der Medicin", in welcher er das medicinische Studium als diejenige Schule pries,

> „welche ihm eindringlicher und überzeugender, als es irgend eine andere hätte thun können, die ewigen Grundsätze aller wissenschaftlichen Arbeit gepredigt hat, Grundsätze so einfach und doch immer wieder vergessen, so klar und doch immer wieder mit täuschendem Schleier verhängt".

Er hebt hervor, dass man in der Medicin mehr als auf anderen Wissensgebieten zur Einsicht geführt wird, dass erkenntnisstheoretische Fragen über die Methodik der Wissenschaft auch eine bedrängende Schwere und eine fruchtbare praktische Tragweite erlangen können; dass, wenn man auf wohl gesicherter Basis arbeitet, einem durch Irrthum nichts genommen wird, als das, worin er sich geirrt hat, dass aber, wo alles auf eine Hypothese gestellt ist, die nur dem entspricht, was man für wahr halten zu können wünscht, jeder Riss das ganze Gebäude der Ueberzeugungen einreisst. Und nun wendet er sich in überaus geistvoller Ausführung gegen die metaphysischen Systeme in der Naturforschung, ebenso wohl gegen die Spiritualisten, die sich als Wesen fühlen wollen, welche über das Maass der übrigen Natur hinausragen, wie gegen die Materialisten, welche durch ihr Denken mit denjenigen Begriffsformen, zu deren Ausbildung sie bis jetzt gelangt sind, die Welt unbedingt beherrschen

wollen. Wie er es früher und bis zu seinem Ende stets gethan, hebt er auch hier wieder eindringlich hervor, dass es keine andere Methode zur Feststellung des Kommenden giebt, als die Gesetze der Thatsachen durch Beobachtungen kennen zu lernen; wir können sie kennen lernen durch Induction, durch Herbeiführung und Beobachtung solcher Fälle, die unter das Gesetz gehören; dann erst beginnt das Geschäft des Deducirens.

Er führt klar und überzeugend aus, dass durch Kant's Zurückweisung der Ansprüche des reinen Denkens die spiritualistische Theorie zurückgedrängt worden sei, dass seine Kritik der reinen Vernunft eine fortlaufende Predigt gegen den Gebrauch der Kategorien des Denkens über die Grenzen der Erfahrung hinaus gewesen, und dass er in allen metaphysischen Systemen nur Gewebe von Trugschlüssen erkannt habe. Aber dadurch, dass Kant die Axiome der Geometrie als durch transcendentale Anschauung gegeben betrachtete, ist die reine Anschauung a priori der Ankerplatz der Metaphysiker geworden; der Ausdruck eben dieser Theorie in der Physiologie ist die nativistische Theorie. Daher sind die Versuche von so grosser Bedeutung, die reinen oder empirischen Anschauungen, die Axiome der Geometrie, die Grundsätze der Mechanik oder die Gesichtswahrnehmungen in ihre rationellen Elemente aufzulösen. Er ermahnt die jungen Naturforscher, sich dadurch nicht irre machen zu lassen, dass alle Secten der Metaphysiker sich darüber ereifern, „denn diese Untersuchungen legen die Axt an die scheinbar festeste Stütze, die ihren Ansprüchen noch blieb“. Aber auch den Materialismus hält Helmholtz für eine metaphysische Hypothese, die sich bisweilen für die Naturwissenschaften fruchtbar erwiesen hat, aber als Dogma dem Fortschritt der Wissenschaft ebenso hinderlich werden kann.

„Gedächtniss, Erfahrung, Uebung sind auch Thatsachen, deren Gesetze gesucht werden können, und welche sich nicht

wegdecretiren lassen, wenn sie auch nicht schon jetzt glatt und einfach auf die bekannten Gesetze der Erregung von Nervenfasern und deren Leitung zurückzuführen sind, so günstigen Spielraum der Phantasie das Gewirr der Ganglienfortsätze und Nervenfaserverbindungen im Gehirn darbieten mag."

Durch den Tod seiner Tochter Käthe und die unausgesetzte wissenschaftliche Arbeit war Helmholtz gemüthlich, körperlich und geistig angegriffen; auch nahm er manche Widerwärtigkeiten, die Neid und Missgunst ihm bereiteten, schwerer als sonst. Da war ihm seine Frau, welche mit ihren Kindern am Starnberger See weilte, eine Trösterin im edelsten Sinne:

„Ich sitze und träume stundenlang und denke an Dich, Du lieber Mann, und wünsche Dich her, ferne von allen Miserabilitäten. Die Natur ist eine grosse Lehrerin auch auf Gebieten, wo sie sonst nichts zu thun hat. Der relative Werth der Dinge kommt in ihrem Lichte so recht zu Tage."

Hatte er noch in seiner eben besprochenen Rede seinen Schülern zurufen können:

„Nun noch eine Verwahrung; ich möchte nicht, dass Sie glaubten, meine Darstellung sei durch persönliche Erregung beeinflusst gewesen. Dass Jemand, der solche Meinungen hat, wie ich sie Ihnen vorgetragen, der seinen Schülern, wo er kann, den Grundsatz einschärft: „Ein metaphysischer Schluss ist entweder ein Trugschluss oder ein versteckter Erfahrungsschluss", von den Liebhabern der Metaphysik und der Anschauungen a priori nicht günstig angesehen wird, brauche ich nicht aus einander zu setzen. Metaphysiker pflegen, wie Alle, die ihren Gegnern keine entscheidenden Gründe entgegen zu setzen haben, nicht höflich in ihrer Polemik zu sein; den eigenen Erfolg kann man ungefähr an der steigenden Unhöflichkeit der Rückäusserungen beurtheilen.",

und nahm er auch sonst stets von unhöflichen wissen-

schaftlichen Entgegnungen mit einer des grossen Forschers würdigen Vornehmheit Kenntniss, so übten doch die unqualificirbaren Angriffe auf seine Person und seine Familie einen deprimirenden Eindruck auf ihn aus, und es war eine kritische Zeit, welche Helmholtz damals durchlebte.

Da verband sich, wie es die philosophische Facultät schon früher gethan, die ganze Berliner Universität solidarisch mit ihm; sie wählte ihn, der erst wenige Jahre ihr angehörte, für das Jahr 1876 zu ihrem Rector, und dieses glänzende Zeugniss von Vertrauen und Verehrung so vieler hervorragender Forscher, welche der Berliner Hochschule angehörten, gab ihm wieder Ruhe und Freudigkeit. Er suchte Erfrischung und Erholung in der Schweiz, ging in starken Märschen über die Grimsel, Eggischhorn, Belalp, wo er Tyndall besuchte, nach Zermatt und von dort mit seiner Frau nach Stresa, Mailand, Spezzia und Rom.

Noch auf der Reise verfasste er seine am 15. October 1877 zum Antritt des Rectorats gehaltenen Rede „Ueber die akademische Freiheit der deutschen Universitäten“, welche den Geist kennzeichnen sollte, der durch die Eigenartigkeit der deutschen Universitäten besonders gehegt und gepflegt wird, und den Helmholtz in der weit später von ihm verfassten Glückwunschadresse der Akademie zum 50jährigen Doctorjubiläum du Bois' in die Worte kleidet: „Es soll die Jüngeren lehren, dass ideale Ziele schon in diesem Leben erreichbar sind und ihren Lohn finden, freilich aber nur, wenn man die rechte Arbeit dafür einsetzt.“ Die Rede bietet gerade dadurch ein ganz hervorragendes Interesse, weil aus ihr sowie schon aus der zum Gedächtniss von Magnus 1871 gehaltenen der hohe sittliche, religiöse und politische Standpunkt erkennbar ist, den Helmholtz während seines ganzen Lebens festgehalten, ohne dass er je zu Fragen dieser Art öffentlich Stellung genommen.

Helmholtz sieht die Macht einer Nation nicht allein begründet in den Vorräthen von Lebensmitteln und Geld,

von Gussstahlkanonen und Panzerschiffen, sondern vor allem in der politischen und rechtlichen Organisation des Staates und in der moralischen Disciplin des Einzelnen, welche das Uebergewicht der gebildeten Nationen über die ungebildeten bedingt. Wo kein fester Rechtszustand ist, wo die Interessen der Mehrzahl des Volkes sich nicht in geordneter Weise geltend machen können, wo nicht den politischen Interessen der arbeitenden bürgerlichen Classe eine berechtigte Stimme in dem Rathe der Regierungen eingeräumt wird, da hält er eine Entwickelung der Macht des Staates für unmöglich. In dem Ringen und Streben wohlentwickelter Staaten ist aber, wie er später bei anderer Gelegenheit hervorhebt, bei der modernen Menschheit die Wissenschaft das einzig einigende Band geworden, welches unbedingt Frieden predigt; in ihr arbeitet jeder für das Wohl seines Volkes nicht nur, sondern für das der ganzen Menschheit, so weit die Menschen die Vorbildung besitzen, um von den Früchten der Wissenschaft Vortheil zu ziehen. Aber zur fruchtbaren Fortentwickelung der Wissenschaften ist die selbständige Ueberzeugung von der Richtigkeit der Resultate derselben als eine Folge gewissenhaftester Prüfung und entschlossener Arbeit nöthig, sie wird dann ein fruchtbarer Keim neuer Einsicht und die wahre Richtschnur des Handelns. Er betrachtet Deutschland im Vorrang des Kampfes gegen die Autorität stehend, es hat im 16. Jahrhundert für das Recht solcher Ueberzeugung als Blutzeuge gelitten. Schon in seiner Innsbrucker Rede hatte er hervorgehoben, dass in Deutschland eine grössere Furchtlosigkeit vor den Consequenzen der ganzen und vollen Wahrheit bestehe als anderswo, während in England und Frankreich die vielen und ausgezeichneten Naturforscher bisher fast immer vor gesellschaftlichen und kirchlichen Vorurtheilen sich beugen mussten, wenn sie nicht ihren gesellschaftlichen Einfluss und ihre Wirksamkeit schädigen wollten. In der voll erkannten Wahrheit sieht er das Heilmittel gegen die Gefahren und Nachtheile des halben Erkennens:

„Ein arbeitsfrohes, mässiges, sittenstrenges Volk darf solche Kühnheit üben, es darf der Wahrheit voll ins Antlitz zu schauen suchen; es geht nicht zu Grunde an der Aufstellung einiger voreiligen und einseitigen Theorien, wenn diese auch die Grundlagen der Sittlichkeit und der Gesellschaft anzutasten scheinen sollten.“

Aber gerade diese Liebe zur Wahrheit ist, wie er in seiner Magnus-Rede ausführt, bei den Deutschen auch wieder der Antrieb, die principiellen Fragen bis in ihre tiefsten Gründe zu verfolgen, unbekümmert um die praktischen Consequenzen und die nützlichen Anwendungen derselben. Die selbständige geistige Entwickelung der letzten drei Jahrhunderte hatte in Deutschland unter politischen Zuständen begonnen, welche das Hauptgewicht auf die theologischen Studien fallen liessen. Deutschland hatte Europa von der alten Zwingherrschaft befreit, aber durch die Reformation hatte das geistige Leben seinen alten Halt und seinen alten Zusammenhang verloren, alles musste in neuem Lichte erscheinen und neue Fragen aufregen. Da man nun hauptsächlich sittliche, ästhetische und metaphysische Probleme zu lösen hatte, so war es nach Helmholtz's Ansicht wohl begründet, dass sich die Gebildeten aller Nationen auf die Philosophie stürzten. Die Kritik der Erkenntnissquellen wurde vorgenommen, und der deutsche Geist konnte von der Metaphysik, die auf ihn eine gefährliche Anziehungskraft ausübte, nicht früher ablassen, bis er nichts mehr zu finden vermochte. Dazu kam, dass in der zweiten Hälfte des achtzehnten Jahrhunderts das verjüngte geistige Leben der Nation anfing, seine künstlerischen Blüthen zu treiben, und aus der freudlosen bürgerlichen und politischen Existenz flüchteten sich alle Gemüther in das Land der Poesie oder das der Philosophie. „Die Arbeit des Naturforschers erschien eng, niedrig, gleichgültig neben den grossen Conceptionen der Philosophen und Dichter.“ Helmholtz erkennt wohl an, dass jene Strömung das napoleonische Joch ge-

brochen und in den grossen Dichtungen uns den edelsten Schatz unserer Nation gegeben, aber

„sich in eine ideale Welt flüchten, ist eine falsche Hülfe von kurz dauerndem Erfolge, sie erleichtert nur dem Gegner sein Ziel, und wenn das Wissen immer nur sich selbst spiegelt, so wird es gegenstandslos und leer oder löst sich in Illusionen und Phrasen auf“.

Die Reaction gegen diese Richtung ist jedoch nicht nur im Gebiete der Naturwissenschaften, sondern ebenso im Kreise der Geschichte, der Kunstwissenschaft und Sprachforschung eingetreten, man hat überall begriffen, dass man erst die Thatsachen kennen muss, ehe man ihre Gesetze aufstellen kann.

Helmholtz richtet nun in seiner Rectoratsrede an die jungen Studirenden die Aufforderung, die Wissenschaft um ihrer selbst willen zu treiben, und erörtert Gedanken hoher sittlicher Anschauung, denen er bescheiden und in offener Selbsterkenntniss in seiner berühmten Tischrede im Jahre 1891 so schöne Worte geliehen:

„Ich will nicht sagen, dass in der ersten Hälfte meines Lebens, wo ich noch für meine äussere Stellung zu arbeiten hatte, neben der Wissbegier und dem Pflichtgefühl als Beamter des Staates nicht schon höhere ethische Beweggründe mitgewirkt hätten; jedenfalls war es schwerer, ihres wirklichen Bestehens sicher zu werden, so lange noch egoistische Motive zur Arbeit trieben. Es wird ja wohl den meisten Forschern ebenso gehen. Aber später, bei gesicherter Stellung, wo diejenigen, welche keinen inneren Drang zur Wissenschaft haben, ganz aufhören können zu arbeiten, tritt für die, welche weiterarbeiten, doch eine höhere Auffassung ihres Verhältnisses zur Menschheit in den Vordergrund. Sie gewinnen allmählich aus eigener Erfahrung eine Anschauung davon, wie die Gedanken, die von ihnen ausgegangen sind, sei es durch die Literatur oder mündliche Belehrung ihrer Schüler, weiter durchgearbeitet, reicheren Inhalt und festere

Form erhalten und ihnen selbst wieder neue Belehrung zuführen. Es tritt ihm die ganze Gedankenwelt der civilisirten Menschheit als ein fortlebendes und sich weiter entwickelndes Ganzes entgegen, dessen Lebensdauer der kurzen des einzelnen Individuums gegenüber als ewig erscheint. Er sieht sich mit seinen kleinen Beiträgen zum Aufbau der Wissenschaft in den Dienst einer ewigen heiligen Sache gestellt, mit der er durch enge Bande der Liebe verknüpft ist. Dadurch wird ihm seine Arbeit selbst geheiligt."

Dieser Geist ist es, welchen Helmholtz den jungen Studirenden als den auf deutschen Universitäten gepflegten schildert, deren Einrichtungen und Wesen er als von anderen Nationen unerreicht hinstellt, wenn er auch nicht verhehlen will, dass wir den englischen Universitäten in der Pflege eines lebendigen Gefühls für die Schönheit und Jugendfrische des Alterthums, der Feinheit und Schärfe des sprachlichen Ausdruckes und des körperlichen Wohles ihrer Studirenden nachstreben sollten. Aber die aufsichtslose Freiheit der deutschen Studirenden, ein Gegenstand des Staunens aller Ausländer, ist ein Schatz, der gewahrt bleiben muss; sie rechnet freilich auf die Urtheilskraft und Vernunft derer, denen man die Freiheit gewährt. Dann, aber auch nur dann, ist die Freiheit in der Lehre der Wissenschaft nothwendig und gefahrlos.

„Im neuen deutschen Reiche können auf den Universitäten die extremsten Consequenzen materialistischer Metaphysik, die kühnsten Speculationen auf dem Boden von Darwin's Evolutionstheorie ebenso ungehindert wie die extremste Vergötterung päpstlicher Unfehlbarkeit vorgetragen werden."

Noch am Ende desselben Jahres, am 26. November 1877, legte Helmholtz der Akademie eine Arbeit vor, betitelt „Ueber galvanische Ströme, verursacht durch Concentrationsunterschiede; Folgerungen aus der mechanischen Wärmetheorie", mit der er die Reihe seiner wichtigen elektrochemi-

schen Untersuchungen eröffnete. Nachdem er in seinen elektrischen Arbeiten die Ueberzeugung gewonnen hatte, dass die Faraday-Maxwell'sche Hypothese für die Elektrodynamik, zu deren erneuter Prüfung er erst nach zwei Jahren wieder zurückkehrte, die grösste Wahrscheinlicheit für sich habe, wandte er sich jetzt auch den elektrochemischen Anschauungen Faraday's zu, von denen sowie von deren Ausbildung durch Hittorf, Wiedemann und F. Kohlrausch er später in der in England gehaltenen Faraday-Rede eine ausführlichere Darlegung gab.

Faraday nannte Ion die vom Strome fortgeführten Atome oder Atomgruppen, Kation diejenigen Bestandtheile, die mit der positiven Elektricität sich bewegen, Anion, die mit der negativen fortgehen; das Kation wandert also zu derjenigen Elektrode, zu welcher die positive Elektricitätsmenge der Flüssigkeit hinströmt, zur Kathode, das Anion zur Anode, von welcher dieselbe Elektricität in die Flüssigkeit einströmt. Faraday hatte nun das die ganze jetzige Elektrochemie beherrschende Gesetz gefunden, dass durch jeden Querschnitt eines elektrolytischen Leiters immer äquivalente elektrische und chemische Bewegung stattfindet, also genau dieselbe bestimmte Menge sei es positiver, sei es negativer Elektricität sich mit jedem einwerthigen Ion oder mit jedem Valenzwerthe eines mehrwerthigen Ion bewegt und es unzertrennlich begleitet bei allen Bewegungen, die dasselbe durch die Flüssigkeit macht. Helmholtz nennt diese Quantität die elektrische Ladung des Ion. Indem er nun annimmt, dass auch die Elektricität in bestimmte elementare Quanta getheilt ist, Atome der Elektricität, schliesst er, dass jedes Ion, so lange es sich in der Flüssigkeit bewegt, mit je einem elektrischen Aequivalent für jeden seiner Valenzwerthe vereinigt bleiben muss. Nur an den Grenzflächen der Elektroden kann eine Trennung eintreten, so dass, wenn dort eine hinreichend grosse elektro-

motorische Kraft wirkt, die Ionen ihre bisherige Elektricität abgeben und elektrisch neutral werden können. Indem er als Grundvoraussetzung das Gesetz von der Constanz der Energie und die strenge Gültigkeit des Faraday'schen elektrolytischen Gesetzes festhält, findet er, dass Wasserstoff und Sauerstoff des Wassers, wenn sie, ohne ihre elektrischen Ladungen zu verlieren, von einander getrennt werden könnten, eine Anziehung auf einander ausüben würden, gleich der Gravitation von Massen, die ihnen 400 000 Billionen mal an Gewicht überlegen wären. Bei der weiteren Untersuchung, in welcher Weise die Bewegungen der wägbaren Molekel durch diese Kräfte beeinflusst werden, hatte sich durch die Betrachtungen von Clausius ergeben, dass die elektrischen Kräfte eine gleichmässige Vertheilung der entgegengesetzten Ionen durch die ganze Flüssigkeit zu unterhalten im Stande sind, so dass alle Theile derselben ebenso gut elektrisch wie chemisch neutralisirt sind, dass aber die geringsten äusseren elektrischen Kräfte ausreichen, um die Gleichmässigkeit dieser Vertheilung zu stören. Bei der Trennung eines Ion jedoch von seiner elektrischen Ladung begegnen die elektrischen Kräfte der Batterie einem Widerstande, dessen Ueberwindung einer höchst bedeutenden Arbeitsleistung entspricht. Dies wird eintreten, wenn die Ionen, indem sie ihre elektrischen Ladungen verlieren, auch gleichzeitig als Gase oder in Form fester metallischer Schichten aus der Flüssigkeit ausscheiden. Die chemische Verbindung zweier Elementarstoffe von grosser Verwandtschaft erzeugt Wärmemengen, welche einer grossen mechanischen Arbeitsleistung äquivalent sind; die Zersetzung der entstandenen chemischen Verbindung erfordert zur Herstellung der Energie der bei der Schliessung der Verbindung verloren gegangenen chemischen Arbeitskräfte einen entsprechenden Aufwand arbeitsfähiger Kräfte.

„Sauerstoff und Wasserstoff von einander getrennt, enthalten einen Vorrath von Energie; denn lassen wir sie mit

einander zu Wasser verbrennen, so entwickeln sie eine grosse Wärmemenge. Im Wasser sind die beiden Elemente enthalten, und ihre chemische Anziehungskraft besteht fort, indem sie sie fest vereinigt hält; aber dieselbe kann nunmehr keine Verwendung, keine positive Action mehr hervorbringen. Wir müssen die vereinigten Elemente in ihren ersten Zustand zurückführen, wir müssen sie von einander trennen und dazu eine Kraft anwenden, die ihrer Verwandtschaft überlegen ist, ehe wir ihnen die Fähigkeit wiedergeben, ihre erste Action zu erneuern. Die Wärmemenge, welche durch die chemische Verbindung hervorgebracht wird, ist wenigstens angenähert das Aequivalent der Arbeitsleistung der chemischen Kräfte, die in Wirksamkeit versetzt worden sind. Derselbe Betrag von Arbeit muss andererseits aufgewendet werden, um die Verbindung zu trennen und die beiden Gase in den unverbundenen Zustand zurückzuführen.“

In der oben erwähnten Arbeit „Ueber galvanische Ströme“ hat Helmholtz als erster die beiden Gesetze der Thermodynamik auf elektrischem Gebiete angewandt. Um einen elektrischen Strom durch irgend einen Leiter dauernd zu unterhalten, ist ein bestimmter Betrag chemischer oder mechanischer Arbeit nöthig; es müssen fortdauernd neue Vorräthe positiver Elektricität in das positive Ende des Leiters gegen die abstossende Kraft der dort angesammelten positiven Elektricität eingetrieben werden, negative Elektricität in das negative Ende. Dabei muss nach dem Faraday'schen Gesetze die elektromotorische Kraft der Batterie der Arbeit proportional sein, welche durch die Umsetzungen von je einem Aequivalent der betreffenden Stoffe gewonnen werden kann. Nun kommen aber hierbei nicht bloss die grossen Verwandtschaftskräfte der sich in festen Verhältnissen vereinigenden und trennenden Elemente in Betracht, sondern auch die kleineren molekularen Anziehungskräfte, welche das Wasser und andere Bestandtheile der Lösung

auf deren Ionen ausüben, und Helmholtz stellte sich die Aufgabe, selbst Einflüsse dieser Art, welche zu schwach sind, um durch die calorimetrischen Methoden gefunden zu werden, durch Messung der elektromotorischen Kräfte zu ermitteln. Um mit Hülfe der mechanischen Wärmetheorie den Einfluss zu berechnen, welchen die Concentration einer Salzlösung auf die elektromotorische Kraft hat, wurde ein Strom durch eine Salzlösung geleitet, welcher einerseits eine chemische Zersetzung derselben nach ihren Aequivalenten, andererseits eine Veränderung der Concentration an den Elektroden bewirkte; diese Veränderung wurde fortdauernd dadurch rückgängig gemacht, dass da, wo der Strom die Lösung verdünnt, die überschüssige Wassermenge in Dampf verwandelt und entfernt wird, während an den Stellen, wo die Lösung concentrirter wird, Dampf niedergeschlagen wird. Bewegt sich das Wasser mit dem aufgelösten Salz, und wird durch geeignete Zufuhr von Wärme die Temperatur constant erhalten, so kann bei schwachen Strömen der ganze Vorgang als umkehrbarer Kreisprocess aufgefasst werden, und es wird die Summe der gewonnenen und verlorenen Arbeit verschwinden; die daraus gezogenen theoretischen Folgerungen gaben eine sehr befriedigende Uebereinstimmung mit den damals vorliegenden experimentellen Daten.

Am Ende des Jahres 1877 verliess sein Sohn Richard das Polytechnicum in München, welches er vier Jahre hindurch besucht hatte; Helmholtz hatte die Freude, seinen Sohn in der Locomotivfabrik von Krauss angestellt zu sehen, in welcher derselbe 1880 Chef des Constructionsbureaus und 1887 Oberingenieur wurde.

Die immer mehr sich häufenden Amtsgeschäfte nahmen nun Helmholtz sehr in Anspruch. Schon im October 1877 hatte er beim Antritt seines Rectorats die oben erwähnte Rede „Ueber die akademische Freiheit der deutschen Universitäten“ gehalten, nachdem kurz zuvor sein Vortrag „Das Denken in der Medicin“ die Feier des Stiftungstages

der militär-ärztlichen Bildungsanstalten in Berlin zu einem für die wissenschaftliche Welt bedeutungsvollen Acte gestaltet hatte. Als ihn daher am 12. März 1878 Beltrami zu der am 28. April in Pavia geplanten Enthüllung des Monumentes von Volta einlud:

„Tutti i mei colleghi e, posso dire, tutti gli scienziati italiani nutrono vivissimo desiderio che questa solennità sia onorata della presenza dei fisici che hanno maggiormente fecondato il campo aperto dall' invenzione di quel grande, e da Lei fra i primi. Io Le trasmetto l'espressione di questo desiderio con tanto maggiore fiducia in quanto mi è nota la di Lei benevolenza verso l'Italia, ed in quanto ebbi già da Lei una quasi promessa di intervenire a questa festa, quando ebbi l'onore di darne a Lei un preannunzio a Firenze, nello seorso Autumno",

musste Helmholtz zu seinem grossen Bedauern die ehrenvolle Einladung ablehnen, „da er den Umzug des physikalischen Instituts in das neue Gebäude bewerkstelligen müsse und ausserdem Rector der Universität sei".

Und nun stand noch die verheissungsvolle Rede in Aussicht, die er am 3. August 1878 zur Stiftungsfeier der Berliner Universität halten sollte, und in welcher er frei und rückhaltlos sein philosophisches Glaubensbekenntniss abzulegen gedachte. Er schwankte einige Zeit, welchen Titel er seinem Vortrage geben sollte:

„Den Titel werde ich erst zuletzt machen", schreibt er seiner Frau, „ich weiss ihn noch nicht. Vielleicht: „Was ist wirklich?" oder „Alles Vergängliche ist nur ein Gleichniss" oder „Ein Gang zu den Müttern" oder auch vielleicht trockener „Principien der Wahrnehmung"."

Er wählte aber den Titel „Die Thatsachen in der Wahrnehmung", nachdem seine Frau ihm geschrieben: „Die „Mütter", fürchte ich, würden für Viele ein unbekanntes Ziel sein."

Nachdem er diese schönste und bedeutendste seiner

Reden, deren Inhalt schon oben skizzirt worden, gehalten, meldet er am 4. August seiner Frau:

„Ich wusste, dass es nicht nach dem Geschmack der Majorität sein würde. Es waren neue Gedanken darin, die sie in Verlegenheit bringen mussten — natürlich nicht Zeller, du Bois, Kronecker u. a. Ich aber hatte mir gesagt, wenn ich einmal arbeiten müsste, so wollte ich auch etwas machen, an dessen Ausarbeitung ich selbst Interesse hätte, dann ist es schliesslich immer besser, dass sie mich zu gelehrt finden, als trivial.“

So blieb ihm nur wenig Zeit zur Fortführung seiner elektrodynamischen und elektrochemischen Untersuchungen, und nur zwei auf seine früheren akustischen und optischen Arbeiten bezügliche Ergänzungen, aber von bedeutendem Interesse, traten in diesem Jahre in die Oeffentlichkeit.

Die Erfindung des Telephons hatte ihm zuerst eine grosse Ueberraschung bereitet, aber die wissenschaftliche Begründung desselben war ihm leicht gewesen.

„Die Sache sei ihm so selbstverständlich erschienen“, schreibt er an du Bois, „dass er es nicht für nöthig gehalten habe, eine Theorie davon zu geben; aber freilich, er sei Jahre lang mit Fourier'schen Reihen im Kopfe zu Bett gegangen und wieder aufgestanden und dürfe in diesem Falle keinen Schluss von sich auf Andere machen.“

Du Bois hatte unmittelbar nach dem Bekanntwerden des Telephons die Bewahrung der Klangfarbe durch diesen Apparat dadurch erklärt, dass er sich jeden Klang in seine Partialtöne zerlegt dachte und sich darauf stützte, dass jeder dieser Partialtöne zwar in veränderter Phase, aber mit derselben Schwingungszahl und verhältnissmässiger Amplitude durch die elektrischen sinusoiden Schwingungen des Leitungsdrahtes auf das Telephon des Hörers übertragen werde. Da die Verschiebung der Phase nach den früheren akustischen Untersuchungen von Helmholtz für die Klangfarbe gleichgültig ist, so müsste die Klangfarbe der gesprochenen

Klänge hiernach bewahrt bleiben. Hermann hatte zum Zwecke einer erneuten theoretischen Begründung einen Versuch angestellt, bei welchem ein stromerregendes Telephon durch den einen Draht einer aus zwei neben einander liegenden Drähten gewickelten Spirale geschlossen war, während der zweite, von jenem vollständig isolirte Draht entweder direct mit dem Telephon des Beobachters oder auch mit dem einen Draht einer zweiten bifilaren Spirale verbunden wurde, deren zweiter Draht zu dem Telephon des Beobachters führt. Nun ist nach dem bekannten Gesetz der elektrodynamischen Induction deren elektromotorische Kraft dem Differentialquotienten der Stromintensität nach der Zeit proportional; da aber bei dem Differentialquotient des Sinus einer linearen Function der Zeit der Multiplicator der Zeit als Factor zur Amplitude tritt, so folgerte Hermann, dass bei dieser Uebertragung der elektrischen Oscillationen durch Induction in jeder der Doppelspiralen die Amplituden der elektrischen Oscillationen, welche den höheren Partialtönen jedes Klanges entsprechen, im Verhältniss ihrer grösseren Schwingungszahlen gegen die der tieferen zunehmen. Da hiernach einerseits das Verhältniss der Intensitäten der aus dem zweiten Telephon herausdringenden Partialtöne erheblich verändert werden muss, andererseits die Klangfarbe in der That dieselbe bleibt, so fand Hermann dies unvereinbar mit der Theorie, welche Helmholtz von der Klangfarbe in seinen früheren akustischen Untersuchungen entwickelt hatte.

Helmholtz zeigt nun in einer der Akademie am 11. Juli 1878 vorgelegten Arbeit „Telephon und Klangfarbe“, dass, wenn man nicht bloss die Induction jedes Stromkreises auf den benachbarten, sondern auch auf sich selbst berücksichtigt, die von Hermann gemachten Schlüsse gerade die Richtigkeit seiner Erklärung von der Klangfarbe bestätigen. Er weist nach, dass die Intensitäten der inducirten Ströme von der Schwingungszahl unabhängig, ihre Phasen dagegen

ein wenig verschoben sind, und erklärt zugleich aus den von ihm aufgestellten mathematischen Ausdrücken die stets gemachte Erfahrung, dass die tiefen Töne der Männerstimmen im Allgemeinen bei den gebräuchlichen Telephonen verhältnissmässig zu schwach erscheinen. Die Rückwirkung, welche von der schwingenden Eisenplatte im Telephon des Hörers ausgeht, berücksichtigte Helmholtz bei seiner Untersuchung deshalb nicht, weil deren Oscillationen jedenfalls eine sehr viel geringere Amplitude haben als die der entsprechenden Platte im Telephon des Sprechers. Wenn die Dauer der ohne äussere Störung ablaufenden Inductionsströme 0,01 Secunde übertrifft, so weichen nach seinen Untersuchungen bei directer Verbindung beider Telephone die den höchsten Tönen und Geräuschen entsprechenden elektrischen Oscillationen weder in ihrer Phase noch in ihrer relativen Stärke wesentlich von denen des erregenden Magnetismus ab; die tieferen Töne dagegen können in der Phase merklich verschoben und in der Stärke etwas benachtheiligt sein. Die Klangfarbe wird nicht durch Vermittelung der elektrischen Bewegungen, sondern nur durch die mitschwingenden Eisenplatten beeinflusst.

Eine andere interessante Ergänzung zu seinen Ausführungen in der physiologischen Optik, in welcher er noch die Convergenzstellung der Augen als eines der unsicheren Mittel zur Beurtheilung der Entfernung binocular gesehener Objecte bezeichnet, lieferte er am 10. Mai 1878 in einer der Physiologischen Gesellschaft zu Berlin unter dem Titel „Ueber die Bedeutung der Convergenzstellung der Augen für die Beurtheilung des Abstandes binocular gesehener Objecte“ vorgelegten Mittheilung. Helmholtz geht von der bekannten Beobachtung aus, dass, wenn man die Augenaxen auf benachbarte, nicht identische Stücke eines Tapetenmusters richtet, dasselbe und zwar in anderer Entfernung körperlich plastisch erscheint, und findet, dass bei einer Bewegung des Kopfes eine scheinbare Bewegung des Tapeten-

bildes eintritt. Dagegen macht das reelle, mit richtig gestellten Augenaxen binocular angeschaute Object keine derartige Bewegung, weil wir die durch die Verschiebung unseres Kopfes entstehende Winkelgeschwindigkeit erwarten. Es ergiebt sich daraus, dass eine ruhende Convergenz, welche auf eine bestimmte Entfernung eingerichtet ist, deutlich und fein unterschieden wird von dem Grade der Convergenz, welcher der wirklichen Lage des Objectes entsprechen würde. Die nicht objective Natur des Tapetenbildes verräth sich dadurch, dass jede Bewegung des Kopfes eine scheinbare Winkelbewegung des Bildes hervorruft, und zwar bei Convergenz auf einen entfernteren Punkt nach entgegengesetzter Richtung als der Kopf, bei Convergenz auf einen näheren in derselben Richtung.

Von den Anstrengungen des Rectoratsjahres sucht Helmholtz im August 1878 Erholung in der Schweiz und besucht zunächst Boll in Davos, der dort schwer krank danieder lag und mit ihm seine Hypothesen zur Licht- und Farbenempfindung zu besprechen wünschte. In der Einleitung zu der nach dem Tode Boll's im Jahre 1881 erschienenen Arbeit giebt Helmholtz selbst ein kurzes Referat darüber. Es handelte sich hauptsächlich um die beiden wesentlichen Fragen, ob die drei von Boll unterschiedenen lichtempfindenden Schichten der Netzhaut als die Träger der drei elementaren Farbenempfindungen aufzufassen sind, und ferner, wie die Empfindungen der drei Grundfarben an die drei empfindlichen Schichten der Netzhaut zu vertheilen sind. Helmholtz verwirft die von Boll gemachten Hypothesen nicht, hält aber eine weiter vertiefte Untersuchung für nothwendig.

„Boll hat mir die Resultate seiner letzten Arbeiten auseinandergesetzt“, schreibt Helmholtz seiner Frau, „unter denen wieder viel Interessantes ist. Es machte mir den Eindruck, als wolle er die Bewahrung seiner Gedanken gegen Eventualitäten sichern. Das Meiste war zwar aufgeschrieben;

über Einiges wollte er meine Meinung haben. Insofern ist es mir lieb, dass ich hergegangen bin, es wird vielleicht Einiges zu seiner Beruhigung beitragen... Er ist wirklich ein Mann von allgemeiner Bildung und originalen Gedanken."

Er reiste von dort zunächst über Samaden nach Pontresina, sodann über die italienischen Seen nach Mailand und von dort über Nervi nach Siena, das er schon seit langer Zeit zu sehen gewünscht. Am 24. September schreibt er seiner Frau aus Siena:

„Gestern und heute habe ich nun das alte, höchst merkwürdige Bergnest betrachtet. Es liegt auf ein Hügelkreuz zusammengedrängt, von hohen Mauern umgeben, die mit engen Strassen angefüllt sind. Die jetzige Verarmung sticht tief ab gegen die gewaltigen Reste ehemaliger Grösse. Es hat aber viel mehr Charakter als Pisa, die Kunstwerke erinnern an die Pisaner, namentlich der Dom, dessen Façade von Giovanni Pisani herrührt, aber viel schöner und reicher ist, als die des Domes zu Pisa. Er ist auch schwarz gebändert, aber bedeckt mit einem ungeheuren Reichthum feinster Sculpturarbeit in schöner Anordnung mit feinen rothen Marmoreinrahmungen dazwischen. Im Innern ist eine Kanzel von Niccolo Pisano, dem Vater des Giovanni, welche an diejenige im Baptisterium zu Pisa erinnert, allerdings nicht so fein gegliedert ist, wie jene. Im Innern, das auch gebändert und an der Decke mit feinen Farbenbändern versehen ist, sind ganz merkwürdig schöne Graffiti aus weissem Marmor mit schwarzen Strichen, zum Theil auch noch mit grauem, gelbem und rothem Marmor weiter ausgeführt, die den Fussboden bedecken. Sie sind von wunderbarer Vollendung der Zeichnung und machen eine merkwürdige Wirkung, nur sind sie schon zum Theil durch die Fusstritte der Menschen sehr zerstört. Auch ausser dem Dome sind viel merkwürdige Palazzi, meist mit den schweren Quadern von Pitti und Strozzi in Florenz in der Stadt erhalten;

man begegnet ihnen auf Schritt und Tritt. Eine grosse Menge von Gemälden sind überall angehäuft, überwiegend alterthümlicher Art, meist nicht sehr gut erhalten, so dass man auch die Farbenwirkung nicht mehr hat und sich höchstens an den freundlichen stillen Gesichtern erbauen kann. Von den späteren aber reichen Sodoma und Beccafumi bis dicht an Raphael heran. Von ersterem kriegt man sonst nur Ungenügendes zu sehen; er ist geschickter Al fresco, er ist unruhiger und hat nicht den grossen dramatischen Zug wie Raphael, aber seine Gestalten könnten oft für raphaelitisch gelten und sind sehr liebenswürdig im Ausdruck. Um Siena ganz gerecht zu werden, müsste man sich tiefer in die Kunsthistorien versenken, als ich bisher gekommen bin — sehr charakteristisch ist auch der Platz vor dem Rathhause, dem Palazzo publico, welcher letztere etwas an den Dogenpalast erinnert, freilich alterthümlicher und nicht so königlich. Der Platz davor hat die Form und Vertiefung eines alten, halbkreisförmigen Theaters, dessen geraden Durchmesser der Palazzo einnimmt. Die Räume im Innern sind sehr gross angelegt und enthalten eine Menge von Gemälden, aber meist älterer Periode und halb geschwunden."

Nach kurzem Aufenthalte in Rom eilt er in das ihm noch unbekannte Neapel:

„Ich sitze jetzt wirklich in Neapel, und die Natur ist wirklich unglaublich schön hier. Das von Bonghi empfohlene Hotel ist hoch gelegen, circa 200 Fuss über dem Meere am Bergabhange an der neuen Grenzstrasse der inneren Stadt, dem Corso Vittorio Emmanuele. Wo ich wohne, haben wir hinter uns eine senkrechte Felswand, vor uns einen tiefen Abhang, so dass wir zu ebener Erde hoch über die Dächer der nächsten Häuser wegsehen. Nachmittags, wenn die Sonne von meinem Balcon weg ist, brauche ich mich bloss darauf zu setzen, um die schönste Aussicht der Welt vor mir zu haben, nämlich den belebtesten Theil des Strandes von der hochgethürmten Häusergruppe der Santa

Lucia in der Mitte der Stadt bis zum Posilippo am Ende, darüber den Golf in dem grünblau purpurnen Schiller des Mittelmeeres, jenseits den Vesuv, die Landzunge mit Castellamare und Sorrent und die Insel Capri, dazwischen freien Meereshorizont. Der Vesuv hat sich eben einen neuen Ausblasekegel in seinem Krater gemacht. Gestern Abend und heute früh war der Gipfel in Wolken; heute Abend aber sah man die Dampfwolke, die zwar aschenhaltig, aber bei Tage doch weiss ist, glühroth von dem darunter liegenden Loch des Berges erleuchtet. Man erwartet einen neuen Ausbruch von Lava. Die älteren Lavaströme sind von hier aus gut zu erkennen, weil sie durch ihre schwarzgraue Farbe von den grünen Weinbergen abstechen. Es trifft sich sehr gut, dass ich den Berg werde in einiger Thätigkeit sehen können. Das Wetter ist sehr schön, sonnig, mit halbbewölktem tiefblauem Himmel, heute zum ersten Male recht warm, aber nicht drückend gewesen, kein Staub und die Vegetation grün, wie ich sie in Italien nie gesehen. Die Ulmen mit den dicken Weingehängen sind wohl etwas bräunlich angehaucht, darunter aber der Boden mit der frischesten grünen Saat bedeckt. Es war auch bei Genua und Pisa viel grüner, als wir es sonst gesehen, aber doch nicht so grün wie hier . . .

. . . Heute habe ich für dieses Jahr meine letzte Bergübung auf dem Vesuv ausgeführt, in dessen Krater ich hineingestiegen und auf dessen glühender Lava ich herumgewandelt bin und auch glücklich und unverbrannt zurückgekehrt. Der Krater ist jetzt in seinem Grunde mit dieser Lava bedeckt, durch welche sich die Dämpfe an einer neuen Stelle Bahn gebrochen haben und sich um das Loch einen neuen Aschenkegel gebildet, an dem man sie noch fortdauernd weiterbauen sieht, indem von Zeit zu Zeit die von den heissen Dämpfen abgeschmolzene Masse des Berges ihnen den Weg verstopft und dann mit einer kanonenartigen Explosion herausgeschleudert wird, wobei in einer

dicken Dampfwolke die glühenden Fetzen der zähen Schlacke herausgeworfen werden und dann auf den Aschenkegel zurückfallen und so diesen vergrössern. Alle fünf Minuten etwa war eine solche Detonation, und wir konnten etwa auf 100 Schritte heran, da das glühende Zeug ganz regelmässig immer auf die Oberfläche des Schlackenkegels selbst fiel. Die Lava zeigte in ihren neuesten Theilen noch eine äusserst langsame, kaum wahrnehmbare Bewegung. Man fühlte noch etwas Wärme durch die Sohlen, und wenn man Wasser in einen Spalt goss, zischte es sogleich auf. Einzelne Spalten der jüngsten Lava liessen noch das Glühen erkennen. Die Bergstöcke flammten darin auf, und der Führer holte etwas von der zähen, glühenden Masse heraus. Die alten Wände des Kraters dampften überall von durchdringendem Wasserdampf und waren mit gelbem Schwefel, weissem Salz und grünem Kupfer äusserst bunt gefärbt. Es war im höchsten Grade interessant und grossartig, freilich auch ziemlich mühsam und kostspielig . . .“

Von Neapel reiste er über Rom und Trient nach München zu Lenbach und von dort nach Berlin zurück.

Von den Rectoratsgeschäften frei wendet sich Helmholtz wieder ganz den seit einem Jahre unterbrochenen elektrischen Studien zu und geht zunächst von einer Untersuchung der Contacttheorie in der Elektricität aus, über welche er der Akademie am 27. Februar 1879 eine Mittheilung, „Ueber elektrische Grenzschichten“ betitelt, vorlegte, deren Ausführung „Studien über elektrische Grenzschichten“ in Wiedemann’s Annalen erschien. Wenn man in der Theorie der Vertheilung der Elektricität in leitenden Körpern nur die aus den Wirkungen in die Ferne bekannten Kräfte dieses Agens in Rechnung zieht, so findet man, dass im Gleichgewichtszustand die Elektricität das Innere der Körper verlässt und nur auf der Oberfläche derselben eine unendlich dünne Schicht bildet. Tritt aber im Werthe der Potentialfunction ein Sprung an der Grenze zweier ver-

schiedener Körper ein, wie z. B. bei der Berührung zweier Leiter unter dem Einfluss einer zwischen ihnen wirkenden galvanischen Kraft, so wird sich in diesem Falle längs der Grenzfläche eine elektrische Doppelschicht bilden; Helmholtz bezeichnet das Product der Dichtigkeit der positiven Elektricität mit dem Abstande der beiden Schichten als das elektrische Moment der Schicht, wobei der Abstand als klein, aber nicht als unendlich klein anzusehen ist, weil sonst die zur Bildung der Schichten aufgewandte Arbeit unendlich gross sein müsste.

Diese bereits früher für Körper, welche durch Contact elektrisch werden, gemachte Annahme von der Bildung einer Doppelschicht erweitert nun Helmholtz auf den Fall der Berührung zweier beliebiger Körper. Die Ausdrücke für die Potentialdifferenz lassen ihn zunächst die Elektricitätserregung durch Reibung erklären, und es gelingt ihm, die Verhältnisse der reibungselektrischen Spannungsreihe und die Theorie der Elektrisirmaschine befriedigend daraus zu entwickeln. Den wesentlichsten Gegenstand der Arbeit bildet aber die Darstellung der Theorie derjenigen Erscheinungen, welche beim Fliessen einer Flüssigkeit längs einer festen Wand eintreten und welche den Uebergang liefern zwischen der Elektricitätserregung durch den galvanischen Gegensatz ruhender Körper und der durch gleitende Reibung fester Körper. Von der Annahme ausgehend, dass die Flüssigkeit in galvanischem Gegensatz zu der Wand des Gefässes steht, und beide längs ihrer Grenzfläche eine elektrische Doppelschicht ausbilden, gelingt es ihm, zwei in nahem Zusammenhange stehende Phänomene zu erklären: Die Fortführung von Flüssigkeiten durch enge Röhren in Folge des Durchganges eines elektrischen Stromes durch dieselben, und die Entstehung elektromotorischer Kräfte, wenn Flüssigkeiten durch hydrostatischen Druck durch solche Röhren getrieben werden. Die theoretischen Entwickelungen sowie die Vergleiche mit den Resultaten der von G. Wiede-

mann und Quincke angestellten Versuche beziehen sich jedoch nur auf Capillarröhren, während bei weiteren Röhren an der Stelle, wo der Strom eintritt, complicirtere Bewegungserscheinungen vorkommen.

In dieser Abhandlung, sowie in der späteren Faraday-Rede und in einer Reihe der folgenden elektrischen Arbeiten kommt Helmholtz wiederholt auf den engen Zusammenhang zwischen den elektrischen und chemischen Kräften sowie auf die Erklärung des Volta'schen Fundamentalversuchs zu sprechen. Er nimmt an, dass elektrische und chemische Kräfte im Wesentlichen dieselben sind, und hält die Ansicht fest, dass das Vorhandensein dieser Kräfte, welche bei ungehemmter Wirkung chemische Processe zu Stande bringen, genügt, um die entsprechenden elektrischen Vertheilungen hervorzurufen, auch ehe die chemische Vereinigung eintritt; es erscheint ihm nicht nothwendig, dass immer ein fertiger, chemischer Process vorausgehen müsse, wo Volta'sche Ladungen sich finden. Helmholtz weiss sich darin in Uebereinstimmung mit Faraday, welcher die Identität der chemischen Verwandtschaftskräfte mit der Elektricität annahm und der Vorstellung Ausdruck gab, dass die Atome an ihren elektrischen Ladungen und die entgegengesetzten Ladungen wieder an einander haften, ohne deshalb Molekularkräfte auszuschliessen, welche unmittelbar von Atom zu Atom wirken.

Die von Volta beschriebenen, vielfach bestrittenen Versuche hält Helmholtz für unanfechtbar; wenn zwischen einer Kupferplatte und einer Zinkplatte, welche in sehr geringer Entfernung, gut isolirt durch Schellackstäbe getragen, wie Platten eines Condensators einander gegenüberstehen, für einen Augenblick eine metallische Verbindung hergestellt wird, und sie dann wieder von einander entfernt werden, so lädt sich das Kupfer negativ, das Zink positiv. Die dabei wesentlichen Erfahrungssätze hatte Helmholtz schon in seiner „Erhaltung der Kraft“ in der Form aus-

gesprochen, dass, so lange nur Leiter erster Classe concurriren — d. h. Leiter, welche durch die Leitung keine elektrolytische Zersetzung erfahren — und so lange diese Leiter gleiche Temperatur haben und unbewegt sind, die elektrische Strömung immer zu einem Gleichgewichtszustande der Elektricität führt; nur wenn dieselben durch eine äussere Kraft bewegt werden, können elektrische Strömungen oder concentrirtere Ansammlungen von Elektricität entstehen. In diese Classe von Versuchen gehören nun aber die mit trockenen Metallplatten, welche durch trockene und isolirte Metalldrähte in Verbindung gesetzt werden. Da hier bei jeder neu eingetretenen Anordnung solcher Leiter von gleicher Temperatur die elektrische Bewegung schnell zu einem Gleichgewichtszustande führt, so darf man als ihre Ursache Kräfte einfacher Art betrachten, welche dem Gesetze von der Erhaltung der Kraft folgen. Helmholtz hatte in jener Schrift die Annahme aufgestellt, dass diese Erscheinungen herrühren von Anziehungskräften, welche die verschiedenen Stoffe in verschiedener Stärke gegen die beiden Elektricitäten haben, und welche nur in merkbar kleiner Entfernung wirken. Wenn ein Kupfer- und ein Zinkstück in Berührung sind und das Zink die positive Elektricität stärker anzieht als das Kupfer, so wird diese dem Zink zuströmen und es positiv laden, während das Kupfer negativ zurückbleibt, bis die durch diese Ladung entstehende und in die Ferne wirkende elektrische Anziehung, welche die positive Elektricität zum Kupfer zurückzieht, der Anziehung des Zinks das Gleichgewicht hält. Dann wird also die lebendige Kraft, welche ein Theilchen positiver Elektricität unter dem Einfluss des Zinks und Kupfers allein bei seinem Uebergang vom Kupfer zum Zink gewinnt, gleich sein dem Verluste der lebendigen Kraft, welche dasselbe elektrische Theilchen durch die Anziehung der negativen Ladung des Kupfers und die Abstossung der positiven des Zinks auf demselben Wege verliert. Diese letzte Grösse, für die Ein-

heit der positiven Elektricität berechnet, wird aber der Unterschied der elektrischen Potentialfunction des Kupfers und des Zinks genannt.

Diese Theorie fordert also, dass die bei der Berührung von Kupfer und Zink in ihnen vorhandene Elektricität sich zwischen beiden so vertheilt, dass der Unterschied der elektrischen Potentialfunction eine bestimmte, von der Natur der Metalle abhängige Grösse erreicht. Daraus ist dann unmittelbar ersichtlich, dass Leiter dieser Art dem Gesetze der galvanischen Spannungsreihe unterliegen, und dass Ketten, aus drei oder mehr Leitern erster Classe von gleicher Temperatur gebildet, niemals einen galvanischen Strom hervorbringen, da die Anziehungskräfte der Metalle zu den Elektricitäten immer nur bewirken, dass die Elektricitäten demjenigen Gleichgewichtszustande zustreben, wie er durch diese Anziehungskräfte gefordert ist. Volta nahm eine Scheidungskraft an, welche in der Berührungsfläche ihren Sitz haben sollte, und glaubte, dass die positive Elektricität, welche durch die Berührungsfläche mit dem Kupfer einmal in das Zink eingetreten sei, ohne weiteres Hinderniss in jeden Leiter wieder ausfliessen könne, welcher ihr keine entsprechende neue Scheidungskraft an der Berührungsfläche entgegenstelle; nach Helmholtz's Ansicht dagegen wird die positive Elektricität durch eine Anziehung im Zink festgehalten, und es muss durch Ueberwindung dieser Anziehung eine entsprechende Arbeit geleistet werden, ehe mittelst irgend einer anderen Naturkraft die positive Elektricität dem Zink wieder genommen wird. Die zersetzbaren Leiter der Elektricität folgen aber deshalb der Spannungsreihe nicht, weil sie durch jede elektrische Bewegung zersetzt werden und somit, während diese Zersetzung vor sich geht, in ihnen gar kein ruhender Gleichgewichtszustand entstehen kann. Helmholtz suchte seine Theorie durch eine grosse Reihe der feinsten Versuche zu bewahrheiten, welche er mit Hülfe des Quadrantelektrometers von W. Thomson anstellte.

In Folge seiner eingehenden Beschäftigung mit den verschiedenen Zweigen der Elektricitätslehre wurde er vielfach als höchste wissenschaftliche Autorität bei der Entscheidung technischer Fragen herangezogen; so musste er noch in diesem Jahre unter anderem ein ausführliches Gutachten über die Anlage von Blitzableitern am Kaiserhause zu Goslar abgeben, das sich durch Klarheit und Einfachheit auszeichnet.

Helmholtz war schon früher in seinen kritischen Arbeiten über die Theorie der Elektrodynamik immer mehr zur Anerkennung der Faraday-Maxwell'schen Hypothese gedrängt worden, aber er hatte bereits wiederholt hervorgehoben, dass ein vollkommenes Verständniss der Theorie der elektromagnetischen Erscheinungen und eine endgültige Entscheidung über die Richtigkeit der verschiedenen Hypothesen nur durch eine genaue Untersuchung der Vorgänge bei sehr schnell vorübergehenden ungeschlossenen Strömen gewonnen werden könne. Nun suchte zwar Weber gewisse Schwierigkeiten und Widersprüche seiner elektrodynamischen Hypothese dadurch zu vermindern, dass er der Elektricität einen gewissen Grad von Beharrungsvermögen beilegte, wie es den schweren Körpern zukommt; Helmholtz erkannte aber sehr bald, dass wahres Beharrungsvermögen der Masse der bewegten Elektricität proportional sein müsste, ohne von der Lage des Leiters abzuhängen, und dass sich dieses durch eine Verlangsamung der oscillirenden Bewegungen der Elektricität zu erkennen geben müsste, wie sie nach jähen Unterbrechungen elektrischer Ströme in gut leitenden Drähten sich zeigen. Da sich nun auf diese Weise die Bestimmung einer oberen Grenze für den Werth dieses Beharrungsvermögens erwarten liess, so stellte Helmholtz, als er am Ende des Sommersemesters das Thema zu einer physikalischen Preisarbeit für die Studirenden vorzuschlagen hatte, die Aufgabe, über die Grösse von Extraströmen Versuche auszuführen — „in der sicheren, nachher auch be-

stätigten Voraussetzung", dass Heinrich Hertz, welcher seit dem Herbst 1878 auf den Rath von Bezold in dem von Helmholtz geleiteten physikalischen Laboratorium der Universität arbeitete und den er schon, als er noch die elementaren Uebungsarbeiten durchführte, als einen Schüler von ganz ungewöhnlicher Begabung erkannt hatte, sich dafür interessiren und das Problem mit Erfolg angreifen werde.

Es sollte aus der Grösse der Extraströme eine obere Grenze für die bewegte Masse festgestellt werden; als besonders geeignet wurden Extraströme aus doppeldrähtigen Spiralen vorgeschlagen, deren Zweige in entgegengesetzter Richtung durchflossen werden. Die präcise von Hertz gegebene Antwort zeigte, dass höchstens $^1/_{20}$ bis $^1/_{30}$ des Extrastromes aus einer doppeldrähtigen Spirale der Trägheitswirkung der Elektricität zuzuschreiben sei; Untersuchungen über den Einfluss der Centrifugalkraft einer schnell rotirenden Platte auf die Bewegung eines sie durchfliessenden elektrischen Stromes führten den genialen jungen Forscher zu einer noch viel tiefer liegenden oberen Grenze des Beharrungsvermögens der Elektricität.

Durch diese Untersuchungen von Hertz, deren Resultat Helmholtz klar vorausgesehen, wurde die Faraday-Maxwell'sche Hypothese über das Wesen der Elektricität wesentlich gestützt, und Helmholtz immer mehr in der Ueberzeugung von der Richtigkeit der Faraday'schen Anschauungen bestärkt. Die Erscheinungen des Diamagnetismus liessen sich am ungezwungensten erklären, wenn man annahm, dass diamagnetische Körper solche sind, die weniger magnetisirbar sind, als das sie umgebende, raumfüllende Medium, dass also auch der von allen wägbaren Massen freie Raum oder der in ihm noch enthaltene Lichtäther magnetisirbar ist. Nach der Maxwell'schen Auffassung war es nun aber für die Faraday'sche Theorie der dielektrischen Polarisation und die Beseitigung der Fernwirkung wesentlich entscheidend, ob das Entstehen und Vergehen

diëlektrischer Polarisation in einem Isolator dieselben elektrodynamischen Wirkungen in der Umgebung hervorbringt wie ein galvanischer Strom in einem Leiter. Den Nachweis hierfür zu erbringen, machte Helmholtz zum Gegenstande einer der grossen Preisfragen der Akademie, welche Hertz zu seinen wunderbaren Entdeckungen führte. Durch diese wurden die thatsächlichen Beweise geliefert für die Richtigkeit der von Faraday und Maxwell als höchst wahrscheinlich hingestellten Hypothese, dass die Lichtschwingungen elektrische Schwingungen in dem den Raum füllenden Aether sind, und dieser selbst die Eigenschaft eines Isolators und magnetisirbaren Mediums besitzt.

„Es kann nicht mehr zweifelhaft sein", sagt Helmholtz später in dem klassischen Vorwort zu den „Principien der Mechanik" von Hertz, „dass die Lichtschwingungen elektrische Schwingungen in dem den Weltraum füllenden Aether sind, dass dieser selbst die Eigenschaften eines Isolators und eines magnetischen Mediums hat. Die elektrischen Oscillationen im Aether bilden eine Zwischenstufe zwischen den verhältnissmässig langsamen Bewegungen, welche etwa durch elastisch tönende Schwingungen magnetischer Stimmgabeln dargestellt werden, und den ungeheuer schnellen Schwingungen des Lichtes andererseits, aber es lässt sich nachweisen, dass ihre Fortpflanzungsgeschwindigkeit, ihre Natur als Transversalschwingungen, die damit zusammenhängende Möglichkeit der Polarisationserscheinungen, der Brechung und Reflexion vollständig denselben Verhältnissen entsprechen, wie bei dem Lichte und bei den Wärmestrahlen. Nur fehlt den elektrischen Wellen die Fähigkeit, das Auge zu afficiren, wie diese auch den dunkeln Wärmestrahlen fehlt, deren Schwingungszahl dazu nicht gross genug ist. Es ist gewiss eine grosse Errungenschaft, die vollständigen Beweise dafür geliefert zu haben, dass das Licht, eine so einflussreiche und so geheimnissvolle Naturkraft, einer zweiten ebenso geheimnissvollen und vielleicht noch beziehungsreicheren Kraft,

der Elektricität, auf das Engste verwandt ist. Für die theoretische Wissenschaft ist es vielleicht noch wichtiger, verstehen zu können, wie anscheinende Fernkräfte durch Uebertragung der Wirkung von einer Schicht des zwischenliegenden Mediums zur nächsten fortgeleitet werden. Freilich bleibt noch das Räthsel der Gravitation stehen, die wir noch nicht folgerichtig anders denn als eine reine Fernkraft zu erklären wissen."

Aber zur Begründung und Ausführung seiner grossartigen Untersuchungen, welche heute die Grundlage der modernen Elektricitätslehre bilden, brauchte Hertz fast das ganze vorletzte Decennium des vorigen Jahrhunderts.

Nachdem Helmholtz in den Osterferien Ludwig in Leipzig besucht und nach Thüringen in das Schwarzathal gewandert war, ging er am Ende seines Rectoratsjahres, von der aufreibenden amtlichen und wissenschaftlichen Arbeit sehr ermüdet, auf drei Wochen nach Pontresina, wo er auch früher stets durch grössere Touren Erholung für Körper und Geist gefunden.

„Als Helmholtz älter wurde", schreibt mir Blaserna, „und an seinen Athmungsorganen zu leiden anfing, gab er die Besteigungen nicht auf. Er betrachtete sie als eine Kur, wenn sie nur richtig angebracht wurde. So erklärte er mir eines Tages, dass er auf den herrlichen Piz Languard steigen wollte. Ich bot mich an, ihn zu begleiten; aber lange Zeit wollte er meinen Vorschlag nicht annehmen, weil er meinte, dass ich zu schnell gehen würde. Aber als ich ihm versprach, dass ich hinter ihm gehen und auch keine Veranlassung zum Sprechen geben würde, nahm er meine Begleitung an. Bekanntermaassen ist es eine Besteigung auf gutem Fusswege, die ein rüstiger Steiger in drei, ein bedächtiger in vier Stunden bewerkstelligt: wir brauchten volle sechs Stunden dazu; aber Helmholtz kam in gutem Zustande oben an, zog seine Karte hervor, studirte alle einzelnen Berge wieder, und nachdem wir dort eine

Stunde gerastet hatten, betraten wir den Rückweg und kamen ganz rüstig und gut wieder nach Pontresina zurück.

In den letzten Jahren seines Aufenthaltes in Pontresina gab er die Berge auf; aber er machte Vormittag und Nachmittag regelmässig zwei kleine Besteigungen täglich, auf die Muottas da Pontresina oder da Celerina, oder auf den Schafberg. Staunenswerth war die eiserne Consequenz, mit der er seine zwei Touren täglich ausführte. Das sind leider auch seine letzten gewesen. Einige Jahre später verlor Pontresina durch Helmholtz's Tod, ich möchte wohl sagen, seinen grossen wissenschaftlichen Charakter."

Nachdem er, von Pontresina zurückgekehrt, sich mit seiner Frau noch einige Zeit in Interlaken aufgehalten, schreibt er von Thun aus am 15. September 1879 seinem Freunde Knapp in New York: „Mir ist es im letzten Jahre verhältnissmässig besser gegangen als bisher in Berlin; ich habe schliesslich gelernt, wie viel ich mir an Arbeit und Vergnügen zumuthen darf, und bin hartnäckig und rücksichtslos gegen die Menschen geworden, die meine Zeit in Anspruch zu nehmen suchen, wenn ich müde bin."

Die im Anfange dieses Jahres von Helmholtz ausgeführten Untersuchungen über die capillar-elektrischen Phänomene hatten ihm die Frage nahe gelegt, in wie weit ähnliche Vorgänge bei den Bewegungen einer elektrolytischen Flüssigkeit längs polarisirter Platinplatten stattfinden, da längst bekannt war, dass bei solchen Bewegungen starke Veränderungen der Stromstärke vorkommen. Die Resultate der zu diesem Zwecke ausgeführten Versuche legte er in einer Arbeit „Ueber die Bewegungsströme am polarisirten Platina" am 11. März 1880 der Berliner Akademie vor. Die Versuche wurden an Elektroden von Platindraht angestellt, welche in angesäuertes Wasser tauchten; die einem solchen Drahte entgegengestellte zweite Elektrode bestand entweder aus Zinkamalgam, oder es wurde statt einer einfachen zweiten Elektrode ein Paar Platinplatten ge-

braucht, zwischen denen dauernd ein schwacher, Wasser zersetzender Strom unterhalten wurde, und welche sich bei der Anordnung der Versuche wie eine einzige unpolarisirbare Elektrode verhielten. Zugleich wurde durch eine Nebenschliessung der Kette ermöglicht, jeden beliebigen Werth der elektromotorischen Kraft zwischen den Platinplatten und dem Elektrodendraht wirken zu lassen. Die Stromesschwankungen, welche eintreten, wenn man den Platindraht erst durch Sauerstoffentwickelung von occludirtem Wasserstoff befreit und dann nach einander verschiedene Werthe der elektromotorischen Kraft auf ihn einwirken lässt, werden von Helmholtz zum Theil auf Convectionsströme, zum Theil auf Freiwerden von occludirtem Wasserstoff zurückgeführt.

Helmholtz untersucht aber auch den Einfluss der Strömung des Wassers längs polarisirter Platinflächen und befestigt zu dem Zwecke die Elektroden an einem elektromagnetisch bewegten Neef'schen Hammer, dessen Bewegungen sie mitmachen. Er unterscheidet zunächst den primären Strom, der vorhanden ist, ehe die Elektroden erschüttert werden, von dem durch die Bewegungen der Elektroden hinzukommenden Erschütterungsstrom. Indem er den Erschütterungsstrom kathodisch oder anodisch nennt, je nachdem der erschütterte Draht Kathode oder Anode des Erschütterungsstromes ist, findet er, dass beim Bestehen eines starken kathodischen primären Stromes die Erschütterungsströme immer von derselben Richtung sind und den bestehenden Strom verstärken, dass dagegen bei bestehenden anodischen oder schwach kathodischen Strömen die Erschütterungsströme meist anodisch sind. Wasserstoffbeladung der oberflächlichen Schichten des Platina begünstigt in der Regel das Auftreten anodischer Erschütterungsströme, die man auch gewöhnlich erhält, wenn man den primären Strom aufhören macht.

Die beobachteten Erscheinungen erklärt nun Helm-

holtz auf Grund seiner oben besprochenen Anschauungen über Elektrolyse, welche sich an die schon in seiner „Erhaltung der Kraft“ aufgestellte Hypothese über die Natur der galvanischen Kraft anschliessen, und die er seit 1871 in seinen Vorlesungen über Physik in den wesentlichsten Grundzügen vorgetragen. Nach diesen geht in Elektrolyten eine Bewegung der Elektricität nur gleichzeitig mit derjenigen der Ionen des Elektrolyten vor sich, an welchen sie haftet, und der Bewegung der letzteren stehen keine anderweitigen chemischen Kräfte entgegen als nur ihre elektrischen Anziehungs- und Abstossungskräfte. Mit positiver Elektricitätsmenge beladene Wasserstoffatome, welche sich an einer Seite der Flüssigkeit gesammelt haben, der ein negativ geladener elektrischer Leiter genähert ist, sind also nicht als „freier Wasserstoff“ aufzufassen, sondern als noch chemisch gebundener. Damit eine Anzahl positiver Ionen elektrisch neutral und chemisch ungebunden ausscheide, muss die Hälfte davon ihre Aequivalente positiver Elektricität abgeben und dafür die entsprechenden negativer Elektricität aufnehmen, und dieser Vorgang constituirt die definitive Trennung der vorher bestandenen chemischen Verbindung. Ist die elektrolytische Flüssigkeit in Berührung mit zwei Elektroden von ungleichem elektrischem Potential, so tritt zunächst Ansammlung von Atomen des positiven Ion an der negativen Platte, des negativen an der positiven ein, bis im Innern der Flüssigkeit die Potentialfunction einen constanten Werth erreicht hat. Wenn sich positiv beladene Atome längs der äusseren Seite der Elektrodenfläche sammeln, werden an der inneren Seite die entsprechenden Quanta negativer Elektricität herangezogen, und es wird sich eine elektrische Doppelschicht ausbilden müssen. Das Moment derselben nimmt so lange zu, bis die an den beiden Elektroden gebildeten Doppelschichten ausreichen, den zwischen ihnen durch die elektromotorische Kraft der Kette gesetzten Sprung des

Potentialwerthes hervorzubringen. Um den Gleichgewichtszustand der Kette herbeizuführen, müssen erhebliche Quantitäten positiver und negativer Elektricität der Kathode und Anode zufliessen, und Helmholtz entwickelt die Bedingungen für das elektrische Gleichgewicht und für den Eintritt der Elektrolyse. Nachdem die Resultate der Versuche über Wasserstoffocclusion und Erschütterungsströme durch die Theorie ihre Erklärung gefunden, entwickelt er für die bei anodischem, schwach kathodischem oder ganz fehlendem primärem Strom auftretenden Erschütterungsströme eine ähnliche Auffassung, wie er sie für die capillar-elektrischen Erscheinungen von Glas und Wasser dargelegt.

In den Osterferien des Jahres 1880 machte er eine mehrwöchentliche Reise nach Spanien, die er bis nach Tanger in Afrika ausdehnte. Ausführliche Briefe an seine Frau geben uns eine lebendige Schilderung der Eindrücke, welche Natur und Kunst dort auf ihn machten; es mögen einzelne kurze Bruchstücke derselben hier eine Stelle finden:

„Barcelona, Palmsonntag den 21. März. In Nimes machten wir die Fahrt an den Pont du Gard, eine gewaltige Flussüberbrückung für eine römische Wasserleitung aus der Zeit des Augustus, in einem einsamen Waldthal, von einer Höhe, die der der grössten Dome gleichkommt. Rousseau soll davon gesagt haben, es sei das einzige Ding, was er in seinem Leben gesehen, das seine Erwartungen übertroffen habe. Die Fahrt fordert mindestens fünf Stunden, und so warfen wir auch die Frage auf, ob es lohne, einen Tag an ein Bruchstück eines römischen Aquaducts zu setzen, da wir doch schon viele gesehen hatten. Es ging uns aber wie Rousseau, freilich war es auch nicht das erste Mal, dass es uns so gegangen. . . . . .

Hier haben wir zwei sehr angenehme Tage verlebt, ein Passionsspiel gesehen im Theater, was sehr merkwürdig war, eine grosse Procession u. s. w. . . . . . Das Theater ist ein riesiges Gebäude für 4000 Zuhörer, äusserst zweckmässig

und behaglich eingerichtet, so dass sich unsere nordische Residenz daneben nur schamvoll verstecken kann. Die Darstellung ein altes Passionsspiel in catalonischem Dialecte, den wir natürlich gar nicht verstanden, da es uns mit dem normalen Spanisch ziemlich ebenso geht. Es war sehr geschickt mit Aufwand aller modernen Decorationsmittel in Scene gesetzt und furchtbar realistisch auch in allen Einzelheiten ausgeführt, so dass die ganze Handlung einen Grad von Anschaulichkeit erlangte, den das Lesen doch nimmer giebt. . . . . . Die Palmsonntag-Procession war eingeleitet durch eine Schaar costümirter römischer Krieger mit Musikcorps und ihrem Hauptmann . . . es war grösstes Menschengewoge, lange Reihen von katholischen Vereinen, Schüler und junge Männer in seltsamen Costümen von schwarzer Glanzleinwand, im Schnitt wie Frauenkleider mit Schleppen, mit weissen gefälteten Krausen, zogen der Christusfigur vorauf, die auf einem Brette stehend herumgetragen wurde, den gebeugten Christus am Oelberg darstellend . . . L. legte Gewicht darauf, seinen Freund, den Professor der Chemie Don Ramon Manjarez in seinem Laboratorium aufzusuchen und uns von ihm und einigen anderen Professoren die neugebaute Universität zeigen zu lassen. Ich hatte die Befriedigung, meine akustischen Apparate ziemlich vollständig beisammen zu finden . . .“

„Madrid, Charfreitag den 26. März: Der Escoreal, das riesige Grabdenkmal der spanischen Könige, liegt ziemlich weit ab von Madrid in einem steinigen, öden Gebirge, und es giebt von dem fanatischen Philipp II. doch ein gewisses Bild von ernster Grösse und künstlerischem Geschmack, worin er allen seinen kindischen Nachfolgern überlegen war. Man sieht, dass es ihm fürchterlich ernst war mit dem, was er wollte, und was für ihn selbst bestimmt war, ist höchst einfach, sogar dürftig. Dagegen ist die Kirche äusserst grossartig, einfach und geschmackvoll von neapolitanischen Baumeistern errichtet, etwa das, was die Peters-

kirche in Rom hatte werden sollen, wenn nicht der Roccoco-Geschmack sie verdorben haben würde. Was die Nachfolger hinzugethan, ist kindische Spielerei, nur recht hübsche Gobelins nach Entwürfen von Teniers sind auszunehmen, für welche sie freilich die schönsten Gemälde von Raphael und Tizian in die Rumpelkammer geschickt haben, aus der sie dann in das Museum gerettet wurden. Im Ganzen ist es doch ein historisches Monument, was von dem Sinne seiner Zeit noch lebendig spricht, wenn dieser Geist uns auch feindlich war. . . . . Die Bildersammlung ist imponirend; diese Sammlung von Leuten, welche Velasquez abconterfeit hat, ist so ungeheuer lebendig und eindrucksvoll, dass sie wie Mitlebende erscheinen. . . . . Gestern früh ging ich ab nach Toledo, der alten Residenz; ein eng zusammengedrängtes Bergnest, auf drei Seiten vom Tajo in einer tiefen Schlucht umflossen, eine natürliche Festung mit allerlei westgothischen und maurischen Resten; diese unbedeutend, darin aber ein gothischer Dom von einer Reinheit, Feinheit und Reichthum der Formen, einer Zierlichkeit der Stein- und Holzarbeit, an der noch die Schule der Alhambra nachzuwirken scheint, dass er Alles in Schatten stellt, was ich bisher von gothischen Kirchen gesehen habe. Dabei ist er verhältnissmässig wenig durch spätere Zusätze aus der Jesuitenzeit verdorben worden. Er ist viel entschiedener und consequenter gothisch als der Mailänder Dom und macht doch einen fast noch reineren Eindruck vollendeter Formenschönheit und Erhabenheit als jener. Leider ist die Aussenseite fast unsichtbar. . . . .“

„Cordova, Dienstag den 30. März: . . . . Hier ist nun wieder die grosse Moschee, jetzige Kathedrale, ein Wunderwerk der Architectur, ganz fremdartig und märchenhaft, ein immenses flaches Zeltdach von über 1000 Säulen, die durch phantastische Doppelbögen verbunden sind, getragen, ursprünglich gegen den Orangenhain des Vorhofs überall offen, im Hintergrunde die Capelle zur Aufbewahrung des

Koran, mit der wunderbarsten Marmorarbeit und Mosaiken, alles in Teppichmustern geschmückt. Nicht weit davon eine ebenso geschmückte Capelle, der Gebetplatz der Kalifen. Leider haben sie es als Kirche gegen den Hof mit Mauern geschlossen und in der Mitte ein hohes Chor im Barockstil hineingebaut, so dass man nur noch in der Phantasie nachconstruiren kann, wie luftig und hell und kühl und leicht es gewesen sein muss, ehe es Kirche wurde. Man kann sich der Fragen nicht erwehren, wie eine so fein ausgebildete Cultur so verschwinden konnte. Die Mauren haben nichts davon nach Afrika zurückgenommen, und was die Spanier von ihnen lernen konnten, ist in den nächsten 100 Jahren ebenso verschwunden mit Ausnahme der grossen Bewässerungsanlagen, die das Land fruchtbar machen, so weit sie eben reichen. . . . . Am folgenden Tage machten wir eine Spazierfahrt auf die Abhänge der Sierra Morena nördlich von der Stadt, wobei wir einen guten Einblick in die Fruchtbarkeit des Landes erhielten. Von den Bergen kommen allerlei kleine Wasseradern, die sorgfältig vertheilt sind. Die Orangenbäume sind Waldbäumen im Wuchs vollkommen ähnlich. In Italien habe ich sie nie so gesehen, und dabei waren sie mit Früchten bedeckt, wie ich nie einen Apfelbaum damit bedeckt sah, und zwischen den Früchten waren schon wieder Knospen und Blüthen in vollen Sträussen; Heckenrosen, Schwertlilien, Spiräen, Veilchen, Alles in voller Blüthe, wie es in Deutschland etwa an sehr sonnigen Junitagen aussieht. Dazwischen stehen vereinzelte Dattelpalmen, die sehr elegant in den Himmel hineinragen. . . . .“

„Granada, Freitag den 2. April: . . . Nun aber haben wir wirklich die Alhambra gesehen, welche in Wirklichkeit ganz so zauberhaft ist, wie die Beschreibungen und Bilder sie zu malen streben. Marmor in das zierlichste Spitzenwerk aufgelöst, mit einer Ueberfülle der wunderbarsten Muster ... Nachmittag war Stiergefecht, das erste in einer

neugebauten Arena, riesiges Volksfest. Was die Menschen betrifft, so ist es in höchstem Grade interessant. Die Arena ist ganz nach dem Muster der Antiken (freilich oben aus Holz) gebaut; das Publicum verhält sich genau noch so, wie es die römischen Schriftsteller beschreiben. Ein rasender Schwindel ergreift die Menschenmassen; ununterbrochenes Schreien, bald Bravo, bald Pfeifen. Man muss schon eine Stunde vorher hingehen, weil man später nicht mehr zum Platze kommt. Während dieser Zeit diente eine lahme Wasserspritze, die den Platz bespritzen sollte, und die Apfelsinenverkäufer, die von unten aus der Arena ihre Früchte den Käufern bis in die höchsten Sitzreihen zuschleuderten und ebenso ihre Bezahlung empfingen, zur Unterhaltung des Publicums. Jeder gute Wurf erhielt sein Bravo, jeder schlechte sein Pfeifen. Die eleganten Damen befanden sich leider grösstentheils über uns; die wir sehen konnten, waren in sehr eleganten nationalen Costümen, die sehr gut aussahen, aber kühn in den Farben; eine im Costüm der Stierfechter. Diese letzteren sind schöne Kerls, schlank, beweglich, geschickt und verwegen, dass es eine Freude ist, sie in ihren höchst prächtigen und eleganten Costümen sich bewegen zu sehen. Namentlich die Banderilleros, welche ohne Mantel und Waffe den Stier auf sich zulaufen lassen, in dem Momente, wo er sie zu treffen droht, seitwärts geglitten sind und ihm die mit einem Widerhaken versehenen Federbusche und Zierrathen am Nacken befestigen, sind von einer unbegreiflichen Geschicklichkeit. Unmittelbar nachher freilich wird der Stier durch einen vorgeschleuderten Mantel abgelenkt, um den Angriff nicht zu wiederholen. Was dem Stier geschieht, kann man sich auch noch gefallen lassen; er fällt im Kampfe statt in der Schlachtbank. Freilich ist das Thier, wenn ihm der Matador zum letzten Todesstoss allein entgegentritt, auf das Aeusserste abgehetzt und verwirrt, und bei den sechs Stieren, die geopfert wurden, gelang nur bei zweien dieser

Stoss beim ersten Male. Wahrhaft empörend ist aber die Art, wie die Pferde behandelt werden, übrigens nicht bloss in der Arena, sondern auch überall sonst, wie die zum Tode getroffenen Pferde, die mit verbundenen Augen dem Stier von den Picadores vorgeritten werden, so lange sie den Picador noch tragen können, immer wieder mit Stockprügeln in den Kampf getrieben werden, wie das Publicum nach immer neuen Pferden schreit: caballo, caballo, wenn nur noch ein oder zwei am Leben sind, das ist die eigenthümlich grässliche Seite des Schauspieles. Wenn es nur eine Exhibition menschlichen Muthes wäre, würde man manches Wilde daran verzeihen. Aber schliesslich macht man den Stier doch erst müde dadurch, dass man ihn immer wiederholte Angriffe auf die wehrlosen Pferde machen lässt, die er mehr hasst als die Menschen; und erst wenn er ganz abgehetzt ist, treten die Menschen als Kämpfer ihm gegenüber. . . . .“

„Malaga, Dienstag den 6. April. Malaga ist nicht sehr charakteristisch. Eine schöne Renaissance-Kathedrale, deren Thurm wir bestiegen, um die Stadt zu übersehen, ist recht gross und elegant. In der nächsten Umgebung der Stadt ist der Seewind der Vegetation nachtheilig; wo aber die Berge Schutz gewähren, da sind riesige Orangenwälder, Zuckerrohrpflanzungen u. s. w. . . . . Uebrigens schätzen wir hier Wattenbach's Buch sehr; es ist brauchbarer als Murray, Gautier und Amici. Er hat entschiedenes Talent zum Baedecker und thut mit seiner Prosa Spanien kaum Unrecht. . . . .“

„Tanger, Dienstag den 13. April. In Gibraltar haben wir einen sehr interessanten Tag zugebracht; einer der englischen Officiere, die wir in Ronda getroffen, Colonel Lamprière, hatte uns Eintritt in die Gallerien verschafft, wo die grossen Kanonen rings um die Nordseite des Felsens stehen, und wir wanderten von 10 bis 4 Uhr durch die Batterietunnels. . . . . Ueber all das Sonderbare, was einem

hier in Tanger, wo man plötzlich mitten in die muhamedanische Welt eintritt, vor die Augen und Ohren tritt, kann man nicht genug erstaunen. Die Mannigfaltigkeit der Trachten und Nacktheiten ist gar nicht zu beschreiben. . . . Der Turban, den nur die Moslims tragen, wird sehr sauber gehalten und sieht sehr gut aus; ebenso die weissen oder weiss und schwarz gestreiften Burnus mit den furchtbar charakteristisch aussehenden Augen und scharfen Gesichtern der älteren Männer darunter. Die Frauen, soweit sie auf der Strasse erscheinen, eingehüllt in nicht sehr reinliche, grosse rauhe Badelaken, die sie sich nicht allzu streng um das Gesicht zusammenziehen. . . . .“

Helmholtz reiste sodann über Sevilla, Bordeaux, Paris nach Berlin zurück, um unmittelbar darauf seine Vorlesungen zu beginnen.

Um diese Zeit beschäftigte er sich bereits mit den schwierigen thermodynamischen Untersuchungen, die im engsten Zusammenhange mit seinen späteren Forschungen über die Principien der Mechanik stehen, aber erst nach zwei Jahren zur Veröffentlichung gelangten. Er musste aber jetzt ernstlich darauf bedacht sein, bei seinen ungeheuren geistigen Anstrengungen seiner Gesundheit ein wenig Rechnung zu tragen. Schon in Sevilla hatte ein leichter Ohnmachtsanfall seine Reisebegleiter in Besorgniss versetzt, und jetzt wieder nach den Anstrengungen des Sommersemesters traf ihn wenige Tage vor Beginn der Ferien durch Ausgleiten ein Unfall, der, wohl auch durch eine plötzliche Ohnmacht veranlasst, leicht schwere Folgen hätte haben können.

Aber schon am 8. August konnte er Ludwig mittheilen, er sei so weit hergestellt, dass er mit seiner Frau nach einigen Tagen in kleinen Etappen die Reise nach München beginnen und zunächst nach Leipzig kommen wolle, um dort ein wenig zu ruhen. In der That führte er die geplante Reise aus, ging dann zur Erholung auf einige Wochen in die Schweiz

und nahm, nach Berlin zurückgekehrt, von Neuem seine thermodynamischen Untersuchungen auf, nachdem inzwischen Hertz als sein Assistent im physikalischen Institut angestellt worden, in dem er bis zum Jahre 1883 verblieb. Zu gleicher Zeit führte er aber auch einige Untersuchungen aus, welche mit seinen früheren elektrodynamischen und elektrochemischen Arbeiten in engster Verbindung standen.

Dass in der Nähe eines Magneten eine gewisse Vertheilung des Magnetismus in den Molekülen weichen Eisens vor sich geht, wodurch dieses selbst Abstossungen und Anziehungen kleiner magnetischer Körper zeigt, war, wie man wusste, eine nicht nur dem Eisen zukommende Erscheinung. Faraday hatte nachgewiesen, dass derartige Wirkungen in fast allen Körpern sichtbar sind, und dass ähnliche Erscheinungen, welche auf eine Vertheilung entgegengesetzter Elektricitäten in den Molekülen elektrischer Isolatoren hindeuten, durch die elektrischen Kräfte hervorgerufen werden. Mathematisch waren diese Erscheinungen für die Bewegungen starrer Magnete und magnetisirbaren Eisens von Poisson behandelt; W. Thomson hatte diese Theorie auf die Bewegung starrer Körper in magnetisirbaren Flüssigkeiten ausgedehnt und zu Faraday's diamagnetischen Versuchen in Beziehung gesetzt. Sobald sich die Moleküle magnetisch oder elektrisch polarisirter Medien gegen einander verschieben können, kommen neben den ursprünglich angenommenen Fernkräften nothwendig noch molekulare Wirkungen in Betracht. Faraday hatte vorausgesetzt, dass in den magnetisch oder diëlektrisch polarisirten Medien ein Zustand von Spannung bestehe in Richtung der Kraftlinien, in Folge dessen sich diese zu verkürzen streben, während quer gegen die genannten Linien ein Druck wirke, der die Substanz in dieser Richtung auseinandertreibe. Nachdem W. Thomson schon 1843 den Beweis geführt, dass Kräfte dieser Art dieselbe Wirkung hervorbringen

können, wie die directen Fernwirkungen nach der Theorie von Coulomb, hatte Cl. Maxwell diese Annahme von Faraday zur Grundlage seiner ganzen Theorie der Elektricität und des Magnetismus gemacht. Nun war bereits durch Versuche das sehr auffällige Bestreben elektrischer Isolatoren festgestellt worden, sich quer gegen die Richtung der elektrischen Kraftlinien zu dehnen, und Helmholtz sucht nun in der der Berliner Akademie am 17. Februar 1881 vorgelegten Arbeit „Ueber die auf das Innere magnetisch oder diëlektrisch polarisirter Körper wirkenden Kräfte" eine vollständige Theorie für die Erscheinung zu liefern, dass Isolatoren unter dem Einfluss diëlektrischer Kräfte ihre Gestalt zu verändern suchen.

Er zeigt, dass die Spannungen, welche eine Dehnung senkrecht zu den elektrischen Kraftlinien hervorzubringen bestrebt sind, ohne besondere Annahme über die innere Constitution diëlektrischer Medien eine nothwendige Consequenz des Princips der Erhaltung der Kraft und derjenigen Gesetze sind, welche nach Poisson's Theorie den temporären Magnetismus regeln, und welche auf die diëlektrische Polarisation unmittelbar übertragen waren. Indem er die in den Poisson'schen Gleichungen vorkommende Constante sich einerseits ändern lässt in Folge der Aenderung der Dichtigkeit des Mediums, andererseits vermöge der Verschiebung an sich, erhält er eine andere Vertheilung des Potentials und daraus eine berechenbare Aenderung der Energie. Da aber diese als Aequivalent die Arbeit hat, welche die ponderomotorischen Kräfte bei Hervorrufung der Verschiebungen der Punkte mehr leisten mussten, als wenn keine diëlektrische Spannung vorhanden wäre, so konnte er diese Kräfte berechnen, wenn die Energieänderung festgestellt ist. Die Erörterung, wie weit sich die berechneten Kräfte in Molekularkräfte auflösen lassen, zeigt, dass man dieselben ersetzen kann durch einen Druck, welcher im Innern des Diëlektricums auf ein Flächenelement wirkt,

dessen Normale mit der Richtung der Kraftlinie einen bestimmten Winkel bildet, und eine in der Richtung der Kraftlinien wirkende Spannung. Helmholtz zieht endlich aus den Ausdrücken für die Kräfte wiederum den Schluss, dass die beiden Anschauungen, nämlich diejenige, welche fernwirkende Kräfte annimmt, und die Faraday-Maxwellsche, nach welcher überhaupt nur Polarisation der Medien existirt, auch hiernach noch neben einander bestehen können.

In einer kurzen Aufzeichnung, betitelt „Zur Theorie der Anziehungen innerhalb magnetisirbarer oder diëlektrischer Medien", sagt er bezüglich der hiermit zusammenhängenden Probleme:

„Wenn mehrere feste mit Elektricität beladene Körper innerhalb einer diëlektrisch polarisirbaren Flüssigkeit liegen, so kommen bei der Bestimmung ihrer gegenseitigen Anziehungen nicht bloss diejenigen Kräfte in Betracht, welche die in ihnen selbst enthaltenen elektrischen Quanta auf einander ausüben, sondern auch diejenigen, welche von den elektrisch polarisirten Theilen des zwischenliegenden Mediums ausgehen. Ausserdem aber werden die Theile dieses Mediums selbst, da sie elektrisch geladen sind, elektrischen Bewegungskräften ausgesetzt sein, wodurch auch das Medium von seiner Stelle gedrängt werden und in Folge davon einen Druck auf die in ihm liegenden festen Körper ausüben kann. Nun kann diese Aufgabe in ziemlich einfacher Weise gelöst werden und ist bisher von mehreren Autoren so behandelt worden, indem man annimmt, dass auch in diesem Falle das Gesetz von der Erhaltung der Energie gültig sei, wie unter der älteren Annahme, dass eine beliebige Anzahl elektrisirbarer Körper im leeren, nicht elektrisch polarisirbaren Raume auf einander wirken. Dazu muss man ferner einen Werth der potentiellen Energie annehmen, der den Erscheinungen der diëlektrischen Ladung, wie man sie an ruhenden Körpern (Condensatoren zum Beispiel mit verschiedener isolirender Zwischenschicht) beobachtet, ent-

spricht. Es erscheint nicht zweifelhaft, dass dieses Verfahren thatsächlich richtige Resultate gegeben hat in den Gleichungen, wie sie von W. Thomson, Cl. Maxwell und mir selbst hingestellt und gebraucht worden sind, aber dasselbe führt nicht zu voller Einsicht in das Zusammenwirken der elementaren Kräfte, weil man bis auf diese nicht zurückgeht.

Eine solche Einsicht wird aber namentlich dann ein Bedürfniss, wenn man auf die Mitwirkung der dielektrischen Medien bei den bisher noch weniger durchsichtigen elektrodynamischen Erscheinungen eingehen will. Herr Cl. Maxwell hat diese Verhältnisse unter Annahme eines unendlich grossen Werthes der dielektrischen Constante behandelt, aber in sehr gedrängter Kürze und so, dass die von ihm darauf gebaute Theorie in keine vermittelnde Verbindung mit der älteren gesetzt werden kann. Es scheint mir dies der Hauptgrund zu sein, warum seine äusserst sinnreichen mathematischen Ausführungen der Faraday'schen Gedanken bisher so wenig Verständniss unter den Physikern gefunden haben. Was hier über die Theorie dielektrischer Medien gesagt ist, gilt in gleicher Weise von den paramagnetischen und diamagnetischen. Ich werde fortfahren, von dielektrischen zu sprechen, da die Elektricität hier die mathematisch allgemeinere Form der Aufgabe giebt, insofern ihr Gesammtquantum in einem gegebenen endlichen Raum nicht immer Null zu sein braucht, wie es für das Gesammtquantum des Magnetismus der Fall ist.

Die Hypothese, von der wir dabei ausgehen wollen, ist nun die, dass in den Molekeln eines dielektrischen Mediums unter dem Einfluss äusserer elektrischer Kräfte elektrische Vertheilungen eintreten, wobei wir uns nicht weiter darüber zu entscheiden brauchen, ob es sich hier nur um Elektrisirung übrigens unveränderter ponderabler Molekel handelt, oder ob diese ponderabeln Molekeln selbst durch die elektrischen Kräfte in ihrer Form und Richtung verändert

werden. Nur halten wir die Hypothese fest, dass die zwischen den ponderabeln Molekeln gegenseitig, und zwischen diesen und den Elektricitäten wirkenden Kräfte conservativ seien, das heisst dem Gesetze von der Constanz der Energie unterworfen sind.

Unter diesen Umständen wird also ein Zustand elektrischer Vertheilung entstehen, in welchem auch in den Molekularinterstitien hier positive, hier negative Elektricität lagert, und deren Potentialfunction deshalb ebenfalls in so kleinen Intervallen zwischen hohen und niedrigen, positiven und negativen Werthen wechselt."

Zu gleicher Zeit veröffentlichte Helmholtz in Wiedemann's Annalen eine kurze Notiz „Eine elektrodynamische Waage", die er zu dem Zwecke construirte, um bei der Messung galvanischer Ströme in absolutem Maass die Störungen zu vermeiden, welche die Veränderungen der Richtung und Intensität des Erdmagnetismus durch ihre elektromagnetische Wirkung verursachen. An den Enden des Balkens einer kleinen chemischen Waage hängt er zwei Spiralen von Kupferdraht auf, deren Höhe ihrem inneren Durchmesser gleich, und deren Axe vertical ist; zwei ebenso hohe Spiralen von grösserem Radius werden in einer festen Stellung etwas oberhalb der beweglichen von einem horizontalen Metallstabe gehalten, der in seiner Mitte an der die Waage tragenden Säule befestigt ist. Die Verbindungen der Drähte sind derart angeordnet, dass die eine der beweglichen Spiralen von der festen angezogen, die andere abgestossen wird, die angezogene Spirale hebt sich, die abgestossene sinkt beim Durchleiten des Stromes durch den Schliessungskreis, wobei jede der beweglichen Spiralen mit den anderen den Strom leitenden Drähten durch zwei Streifen von Rauschgold verbunden werden. Der Gesammtwirkung der beiden Rollen wird durch passende Belastung das Gleichgewicht gehalten, und es ist somit die Kraft, welche der elektrodynamischen Kraft entgegenwirkt und sie misst, allein die der Schwere

und keinen Schwankungen unterworfen, wie der Erdmagnetismus.

In den Osterferien 1881 reist er mit seiner Frau nach London, um der ehrenvollen Aufforderung der chemischen Gesellschaft folgend an der Stelle zu den Gelehrten Englands zu reden, „von welcher aus der grosse Naturforscher Faraday, dessen Gedächtniss gefeiert werden sollte, so oft seine bewundernden Zuhörer durch Enthüllung ungeahnter Geheimnisse der Natur überrascht hat".

Seine Rede „Die neuere Entwickelung von Faraday's Ideen über Elektricität", welche er, nachdem Roscoe dieselbe durchgelesen und einiges im Ausdrucke gebessert hatte, in englischer Sprache hielt, gehört zu den formal und inhaltlich schönsten und tiefsten Vorträgen, die er gehalten.

„Seine Faraday-Vorlesung", schrieb seine Frau, „verlief sehr glänzend und gut. Der Inhalt war mir zwar sehr unverständlich, da er meist von Atomen handelte und dem Einfluss der Elektricität auf die chemischen Eigenschaften; aber der Enthusiasmus bei seinem Eintritt und die Cheers, sowie er eine eigene Berechnung oder Ansicht äusserte, waren sehr hübsch."

Nachdem er zunächst einen geschichtlichen Ueberblick über die Entwickelung der Elektrodynamik gegeben, um denselben in einer begeisterten Darlegung der Faraday-Maxwell'schen Theorie gipfeln zu lassen, liefert er zum ersten Male eine zusammenhängende Auseinandersetzung der Beziehungen zwischen den elektrischen und chemischen Kräften, wie wir sie oben in seinen Einzelarbeiten haben entstehen sehen. Um ein Verständniss der Beziehungen zwischen elektrischer Kraft und chemischer Affinität zu erzielen, leitet er aus den Erscheinungen der elektrolytischen Zersetzungen eine Vorstellung her, wie wir uns die ponderablen Atome mit Elektricität verbunden zu denken haben. Aus der Annahme, dass die Ionen mit Elektricität geladen sind, schliesst er, dass mit einer wandernden Atomgruppe immer die gleiche

Menge Elektricität wandert, und dass auch die Elektricität sich nur in bestimmten elementaren Theilen vorfindet, die sich wie die Atome der Elektricität verhalten. Einen wesentlichen Bruchtheil der chemischen Affinität bilden die Anziehungen, welche die entgegengesetzten Elektricitäten in den Verbindungen auf einander ausüben; wenn sich eine in einem Atom vorhandene Einheit positiver Elektricität gegen die Einheit negativer Elektricität in einem anderen Atom bindet, so sind diese Elektricitäten nach aussen unwirksam, und es werden die Atome mit einer gesättigten Affinität an einander haften.

Nach Hertz' Ansicht kommt man so zu einer folgerichtigen Vorstellung über das Wesen der Valenzen, und er will schon daraus allein die Wichtigkeit und Bedeutung der Anschauungen erkennen, welche Helmholtz von den chemischen Vorgängen ausgebildet hat. Freilich dankt dieser an seinem 70. Geburtstage Hoffmann, der seine Forschungen zum Verständniss chemischer Vorgänge als den Beginn einer neuen Aera in der Chemie preist, durch welche ganze Gebiete in ein neues Licht getreten und unserem Verständniss wesentlich näher gerückt sind, mit den so überaus bescheidenen Worten:

„Ich danke Ihnen sehr, wenn Sie einiges Interesse und einige Anerkennung für meine chemischen Dilettantereien empfinden und mir zu erkennen geben.“

Es mögen hier zwei kurze Aufzeichnungen von Helmholtz eine Stelle finden, welche wahrscheinlich die Einleitung zu einer ausführlicheren Bearbeitung seiner chemischen Forschungen bilden sollten und eine Ergänzung zu den Anschauungen liefern, welche er in seinen bisherigen chemischen Einzeluntersuchungen und zusammenhängender in seiner Faraday-Rede entwickelt hatte.

Die erstere derselben, „Nachträgliche Betrachtungen zur Faraday-Lecture“ betitelt, lautet:

„Die dualistische Theorie der Elektricität, welche ich

zunächst bei dem vorliegenden Versuch, eine mit den neueren Erfahrungen vereinbare elektrochemische Theorie aufzustellen, festgehalten habe, setzt unverkennbar eine überflüssig grosse Zahl von Hypothesen und hypothetischen Apparaten in Bewegung nur zu dem Zweck, eine vollkommene Analogie für die Wirkungen positiver und negativer elektrischer Wirkungen zu bewahren. Bei dem Versuch, auf diese Theorie Hypothesen über die Constitution bestimmter chemischer Verbindungen zu bauen, giebt sich die überflüssige Zahl dieser Hypothesen zu erkennen durch die Möglichkeit, verschiedene Constitutionsformeln herzustellen, denen keine gleiche Mannigfaltigkeit thatsächlich vorhandener Verbindungen entspricht. Es schien mir deshalb schon lange wünschenswerth, den Versuch zu machen, wie weit man mit der unitarischen Hypothese gelangen kann; ein solcher Versuch ist auch schon von Richarz gemacht worden.

Als Grundlagen braucht man dann folgende Annahmen:

1. Es giebt abgegrenzte und unter einander gleiche Quanta einer Art von Elektricität, elektrische Atome, von denen je zwei in hinreichender Ferne nach Coulomb's Gesetz abstossend auf einander wirken. Bezeichnen wir die Kraft, mit der jedes Paar derselben gegenseitig auf einander wirkt, mit $\frac{e^2}{r^2}$.
2. Von jeder Valenzstelle jedes Atoms eines chemischen Elementes geht eine ähnliche Kraft aus, welche jede andere Valenzstelle abstösst, und zwar in hinreichender Entfernung mit der Kraft $\frac{e^2}{4r^2}$.
3. Elektrische Atome dagegen und Valenzstellen ziehen sich an, jedes Paar in hinreichender Entfernung mit der Kraft $-\frac{1}{2}\frac{e^2}{r^2}$.

Wenn ein elektrisches Atom zweien Valenzstellen

anliegt, verschwindet in hinreichender Entfernung die Fernwirkung dieses Aggregats, sowohl auf andere elektrische Atome, wie auf andere Valenzstellen.

4. In sehr geringen Entfernungen dagegen nehmen die anziehenden Kräfte zwischen elektrischen Atomen und Valenzstellen bei wachsender Näherung schneller zu, als $\frac{e^2}{r^2}$, und für die Valenzstellen verschiedener Elemente in verschiedenem Maasse.

   In grösseren Entfernungen also leistet ein elektrisches Atom, welches sich zwei bei einander liegenden Valenzstellen nähert, eine Arbeit, die für jedes solches Paar der elektrischen Potentialfunction entspricht, $\frac{e^2}{r}\cdot$ Sobald sie in molekulare Entfernungen kommen, ist dagegen die geleistete Arbeit grösser.

5. Auch zwischen genäherten ponderablen Atomen werden bei grosser Annäherung sehr stark zunehmende abstossende Kräfte anzunehmen sein.

Nach diesen Voraussetzungen wird ein Körper, der in sich gleichmässig vertheilt zweimal so viel Valenzstellen als elektrische Atome enthält, nach aussen hin sich elektrisch neutral verhalten, dagegen eine Art elektrischer Kräfte zeigen (wir wollen sie positiv nennen), wenn eine überschüssige Zahl elektrischer Atome, die andere Art von Kräften (negative), wenn die Zahl der Valenzstellen überwiegt. Im letzteren Fall wird er eine anziehende Fernkraft auf Atome, im ersteren auf Valenzen ausüben.

Der Ueberschuss der Arbeit der in molekularer Entfernung wirkenden Kräfte zwischen Valenzen und elektrischen Atomen über den Werth $\frac{e^2}{r}$ würde sowohl mit der galvanischen Constanten der verschiedenen Substanzen in der Volta'schen Spannungsreihe zusammenfallen, wie mit dem

Haupttheile der chemischen Verwandtschaftskraft. Diejenigen Valenzen, welche die grössere Anziehung gegen die Elektricität in molekularer Entfernung haben, werden im Stande sein, andere Valenzen von geringerer Anziehung zu verdrängen, wie dies ruhig und allmählich bei den elektrolytischen Processen geschieht, stürmischer und unter äquivalenter Wärmeentwickelung am Orte der Umsetzung selbst in denjenigen chemischen Processen, die nicht durch elektrische Gegenkräfte gehemmt werden.

Die elektrische Bindung zweier Valenzen kann ebenso gut solche von gleichartigen, wie von ungleichartigen Atomen betreffen. Dies ergiebt im ersteren Falle Molekeln aus zwei Atomen bestehend, wie sie in den elementaren Gasen vorkommen, im letzteren Falle gesättigte chemische Verbindungen.

Bei der Elektrolyse wird jedem Eintritt eines neuen elektrischen Aequivalentes aus der Anode an den Elektrolyten und jedem Austritt eines solchen an die Kathode das Freiwerden zweier Valenzen an der letzteren, Bindung eben solcher an der Anode entsprechen, welche aber durch Auswechselung der Ionen längs der Stromlinien in der Flüssigkeit in bekannter Weise wieder in Bindung übergehen können."

Die zweite Aufzeichnung, betitelt „Zur elektrodynamischen Theorie optischer Erscheinungen", bezieht sich in den wenigen vorliegenden Zeilen im Wesentlichen zunächst auch nur auf die von ihm vertretenen und oben entwickelten chemischen Anschauungen:

„Maxwell's Gleichungen der Elektrodynamik ziehen Wechselwirkungen zwischen träger wägbarer Masse und dem raumfüllenden elektromagnetischen Aether nicht in den Kreis ihrer Betrachtungen, wenigstens nicht anders, als in so weit die Constanten des Mediums durch die Einlagerung verschiedener ponderabler Stoffe verändert werden können. Dabei wird aber vorausgesetzt, dass die etwa eintretende Bewegung des Mediums eine gemeinsame aller seiner Be-

standtheile sei. Diese Voraussetzung führt dann zu einer Theorie des Lichtes, welche keine Erklärung der Dispersion, und auch nicht der durch Magnetismus hervorgebrachten Rotation der Polarisationsebene giebt.

Die Thatsachen lassen uns dagegen deutlich erkennen, dass eine sehr grosse Reihe von Erscheinungen nur zu Stande kommen, wenn ponderable Materie mit betheiligt ist. Dahin gehört die galvanische Leitung, die damit zusammenhängende Absorption des Lichtes, die Verschiedenheiten der diëlektrischen und magnetischen Constanten und des Lichtbrechungsvermögens, einschliesslich der Doppelbrechung, ferner das weite Gebiet der elektrochemischen und galvanischen Wirkungen.

Einen grossen Theil dieser letzteren habe ich, geführt durch Faraday's elektrolytisches Gesetz, unter einen gemeinsamen Gesichtspunkt zusammenzufassen gesucht, der sich fähig erwiesen hat, auch in der Lehre von der galvanischen Polarisation und der Thermochemie mancherlei dunkle Punkte aufzuhellen. Die von mir damals aufgestellte Hypothese, dass jede Valenz des Ion einer elektrolytisch zerlegbaren chemischen Verbindung mit einem Aequivalent entweder positiver oder negativer Elektricität verbunden sei, so lange der betreffende Elektrolyt noch nicht zerlegt sei, dass ferner die Valenzen verschiedener Elemente, eventuell auch die verschiedenen Valenzen desselben Atoms verschiedene Anziehungskräfte gegen die Aequivalente der beiden Elektricitäten ausüben, und dass diese Anziehungen und die der ungleichnamigen Elektricitäten unter einander den wesentlichsten Theil der chemischen Verwandtschaftskräfte ausmachten: diese Annahmen habe ich bisher allerdings in der Form der alten dualistischen Theorie der Elektricität ausgesprochen und sie bisher noch nicht in Beziehung zu Maxwell's neuerer Darstellungsweise gebracht. Aber ein wesentliches Hinderniss, dies zu thun, besteht durchaus nicht. Es ist durchaus kein Hinderniss, die

Valenzstellen eines Atoms als Orte aufzufassen, welche Spannungscentra des Aethers sind. Ob man sich einen substantiellen Träger dieser Aetherspannungen noch hinzudenken will, den man bisher als ein Quantum Elektricität bezeichnet hat, oder nicht, und im letzteren Falle das bleibende Quantum nur als eine Integrationsconstante der Bewegungsgleichungen auffasssen will, ist an sich gleichgültig. Nur muss man allerdings die Möglichkeit festhalten, dass bei chemischen Zersetzungen ein solches Spannungscentrum auf ein anderes Atom hinübergleite, und dass verschiedene chemische Elemente verschiedene Anziehung zu dem positiven und negativen Ende der Kraftlinien haben, so dass verhältnissmässig grosse Arbeitsbeträge durch eine solche Auswechselung des positiven mit dem negativen Ende des Kraftlinienbündels geleistet werden kann.

Uebrigens wird es in dieser elektrochemischen Theorie überhaupt fraglich, ob es irgend welche freie Elektricität giebt, die nicht an Valenzen mitgeführter Ionen haftet. Denn im reinen Aether eines von aller ponderablen Substanz leeren Vacuums giebt es auch keine freie Elektricität, selbst wenn Lichtschwingungen hindurchziehen.

Wenn wir diese elektrochemische Annahme festhalten und in durchsichtigen Medien Atome mit positiven und negativen Ladungen uns eingelagert denken, so werden diese bei periodisch wechselnden elektrischen Kräften des sie umgebenden Raumes nothwendig in oscillatorische Bewegung versetzt werden müssen, bei denen ihre Trägheit sich geltend machen muss, so dass sie nicht nothwendig augenblicklich den auf sie wirkenden elektrischen Kräften folgen werden. Dadurch sind die wesentlichen Bedingungen für eine Abhängigkeit der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellen von der Schwingungsdauer, d. i. der Dispersion gegeben."

Nachdem Helmholtz seine Rede in London gehalten, reiste er nach Cambridge, wo er zum Doctor of Laws ge-

macht wurde, hielt sich noch einige Zeit in Glasgow bei seinem Freunde W. Thomson auf und reiste dann direct nach Berlin zurück, um seine thermodynamische Arbeit zur Veröffentlichung vorzubereiten.

Die Faraday-Rede hatte ein ganz ungewöhnliches Aufsehen in der englischen Gelehrten-Welt erregt, und Sir William Thomson sah sich dadurch veranlasst, an Helmholtz die Bitte zu richten, noch im Herbst desselben Jahres einige öffentliche Vorlesungen in England zu halten. Helmholtz antwortete ihm am 15. Juli dankend, aber ablehnend:

„Ich sage Ihnen meinen besten Dank für Ihre so freundliche Absicht, mich wieder nach Glasgow zu ziehen. Aber ich finde, dass ich den angebotenen Auftrag nicht übernehmen kann. Erstens kenne ich das Publicum, vor dem ich zu sprechen haben würde, zu wenig und habe überhaupt wenig Glück mit meinen Versuchen, populäre Vorlesungen vor einem grossen, aus verschiedenen Ständen gemischten Publicum zu halten; zweitens nimmt für mich das Ausarbeiten einer Vorlesung in englischer Sprache zu viel Zeit in Anspruch, und ich habe alle Ursache, mit meiner Zeit geizig zu werden, da ich in diesem Jahre 60 alt werde und noch viele Arbeiten vor mir habe, die ich gern vollenden möchte."

Nachdem er nach den Mühen des Sommersemesters wie gewöhnlich den August in Pontresina zugebracht, wo er „den verhängnissvollen Tag, an dem er die fünfziger Jahre verliess", durch eine mühevolle zwölfstündige Partie über die Diavolezza feierte, ging er am 15. September zum elektrischen Congress nach Paris, der an seine Arbeitskraft wieder äusserst grosse Anforderungen stellte, ihm aber auch viel Anregung und Interesse bot.

„Ich fuhr mit du Bois in die Eröffnungssitzung", schreibt er seiner Frau. „Der Minister der Posten ist Präsident, drei andere Minister sind die für Frankreich gestellten Vicepräsidenten. Die auswärtigen waren zu wählen.

Gewählt wurden Sir W. Thomson, Professor Govi von Turin und Dein Gatte. Wir nahmen unseren Platz neben Excellenz Cochery unter grosser Acclamation ein. Die Sitzung selbst war nur formell; in der Versammlung sind eine Menge interessanter Leute .... Im Congress haben wir Sitzungen über Sitzungen von Sectionen, Commissionen, Subcommissionen, Privatcomités gehabt, um die Frage wegen der elektrischen Maasseinheiten zwischen England und Deutschland zu erledigen. Es scheint jetzt glücklich gelungen zu sein. Ich habe jeden Tag drei oder vier französische Reden gehalten, welche Du glücklicher Weise nicht gehört hast. Sir W. Thomson und ein englischer Jurist Moulton sind die Haupt-Debaters auf englischer Seite. Uebrigens erfreue ich mich der Gunst meines Publicums und fahre also fort, mein schlechtes Französisch der Welt ins Gesicht zu schleudern ....“

Von Paris aus musste Helmholtz noch nach Florenz reisen, da er von den italienischen Physiologen zu den Berathungen über die Ertheilung eines Preises als die erste Autorität des Auslandes eingeladen war:

„Wir haben einen grossen Sitzungssaal für uns mit Mobiliar der Murat's, rechts wohnt Tommasi, links ich. Um 2 Uhr werden wir mit zwei anderen Physiologen unsere erste Sitzung haben. Ueber das Resultat wird wohl nicht viel Zweifel bestehen, nur müssen wir die Sache in schriftliche Form bringen ....“

Auf der Rückreise besuchte er noch die elektrische Ausstellung in Wien und traf dort mit W. Thomson zusammen. Ich versammelte damals diesen beiden Meistern der Naturforschung zu Ehren die hervorragendsten Naturforscher Wiens, wie Brücke, Stefan, Oppolzer und viele andere an einem Nachmittage in meinem Hause, und alle waren entzückt von der vornehmen Liebenswürdigkeit von Helmholtz; er sprach mir seine grosse Freude darüber aus, dass er endlich Gelegenheit hatte, mit Stefan, den er

sehr hoch schätzte, eine wissenschaftliche Unterhaltung führen zu können.

Schon nach wenigen Tagen kehrte er nach Berlin zurück und musste zunächst in schriftlichen Gutachten und durch Vorträge in wissenschaftlichen Vereinen über die in Paris gefassten Beschlüsse Bericht erstatten. Noch vor Ende des Jahres macht er im elektrotechnischen Verein in einem Vortrage „Ueber die elektrischen Maasseinheiten nach den Berathungen des elektrischen Congresses versammelt zu Paris 1881“ und im folgenden Jahre in der physikalischen Gesellschaft in dem „Bericht über die Thätigkeit der internationalen elektrischen Commission“ nähere Mittheilungen über die Resultate der Pariser Berathungen, welche in der Arbeit „Ueber absolute Maasssysteme für elektrische und magnetische Grössen“ im Jahre 1882 in Wiedemann's Annalen zusammengefasst sind.

Jede Feststellung einer neuen absoluten Maasseinheit muss auf die messende Beobachtung natürlicher Vorgänge basirt und schliesslich auf einen rein mechanische Vorgänge enthaltenden Versuch zurückgeführt werden. Das Maass der magnetischen Quanta, welches bisher ausschliesslich angewandt wurde, ist auf die von Gauss aufgestellte Definition gegründet, wonach die abstossende Kraft zwischen zwei magnetischen Quantis m_1 und m_2, die in der Entfernung r von einander sich befinden, nicht bloss proportional, sondern gleich dem Werthe $\frac{m_1 m_2}{r^2}$ gesetzt wird; da die Kraft und die Länge r nach bekannten Methoden zu messen sind, ist dadurch der Werth des Productes $m_1 m_2$ in absoluten Maassen bestimmt, und wenn also aus anderen Thatsachen noch das Verhältniss $\frac{m_1}{m_2}$ bestimmt werden kann, sind m_1 und m_2 einzeln gegeben. Setzt man die absolute Dichtigkeit des Wassers gleich 1, während die Einheit der Masse nach Gravitationsmaass bestimmt ist, so ist dadurch nach Gauss ein von der wahr-

scheinlich veränderlichen Rotation der Erde unabhängiges Zeitmaass gegeben. Genau dasselbe Princip wendet Gauss auf die elektrischen Quanta und die gravitirenden Massen an. Helmholtz empfiehlt nun gegenüber Vorschlägen von Clausius und Maxwell, sich an das Gauss'sche magnetische und elektrostatische Maass zu halten, welches der Elektricität und dem Magnetismus die Einheiten $[e] = [m] = M^{\frac{1}{2}} L^{\frac{1}{2}} T^{-1}$ verleiht, worin durch die eckigen Klammern die Dimensionen des von denselben eingefassten Ausdruckes, mit M eine Masse, mit L eine Länge, mit T eine Zeit bezeichnet werden, und von diesen ausgehend alle übrigen bestimmt. Er schlägt vor, diesem Systeme auch den Namen des elektrostatischen zu lassen.

In dieser Zeit hatte Helmholtz seine fundamentalen thermodynamischen Untersuchungen zum grossen Theil zum Abschluss gebracht und war nur noch mit der äusserst schwierigen Darstellung derselben beschäftigt. Gleichzeitig gab er die Anregung zu einigen experimentellen Untersuchungen, welche ihm für die Begründung seiner chemischen Anschauungen ein wesentliches theoretisches Interesse boten.

Er legte am 3. November 1881 der Akademie eine Arbeit vor, betitelt: „Ueber galvanische Polarisation des Quecksilbers und darauf bezügliche neue Versuche des Herrn Arthur König“, die König auf Veranlassung von Helmholtz im Universitätslaboratorium angestellt hatte. Es handelte sich um Messungen über die Capillarspannung der galvanisch polarisirten Quecksilberflächen, bei welchen der störende Einfluss der veränderlichen Adhäsion der beiden Flüssigkeiten an den Glaswänden in Wegfall kam. Die optischen Schwierigkeiten bei der Messung der Niveaudifferenz zwischen der Kuppe und dem grössten Umfange eines ruhenden Quecksilbertropfens wurden ebenfalls vermieden, und zwar wurde die Messung der Oberflächenspannung des Quecksilbers durch Beobachtung der

Krümmung an dem Scheitel eines Quecksilbertropfens ausgeführt, welche durch das Ophthalmometer mit grosser Schärfe bestimmt werden konnte. Der Tropfen ragte aus der oberen, 9 mm weiten kreisförmigen Oeffnung eines Glasgefässes hervor und war umgeben von der in einem weiteren Gefäss enthaltenen elektrolytischen Flüssigkeit. Durch eine geeignete Vorrichtung konnte die Kuppe des Tropfens mehr oder weniger aus der Mündung des engeren Gefässes hervorgedrängt und so eingestellt werden, dass die Krümmung am Scheitel ihr Maximum erreichte. Die Versuchsreihen zeigten übereinstimmend die Erscheinung, dass in einem mittleren, bei den verschiedenen Flüssigkeiten verschiedenen Polarisationszustande die Oberflächenspannung ein Maximum erreicht. Helmholtz macht nun die Voraussetzung, dass die Kräfte, unter deren Einfluss sich an der polarisirten Fläche der Gleichgewichtszustand zwischen den an der Kuppe wirkenden molekularen und elektrischen Kräften bildet, conservative sind, und findet unter dieser Annahme, dass im Zustande der maximalen Oberflächenspannung zwischen dem Quecksilber und der Flüssigkeit kein Potentialunterschied besteht, und die Fläche frei von jeder elektrischen Doppelschicht sein muss. Schliesslich zeigt er noch, indem er das Quecksilber als Elektrode benutzt, dass Faraday's elektrolytisches Gesetz, nach welchem da, wo keine Elektrolyse möglich ist, auch keine Elektricität vom Metall zum Elektrolyten oder umgekehrt übergehen kann, nur in scheinbarem Widerspruch steht zu den Versuchen über galvanische Ströme, welche durch ungleichzeitiges Eintauchen zweier gleichartiger Elektroden in die gleiche Flüssigkeit erregt werden.

Das Jahr 1882 brachte Helmholtz und seiner Familie hohe Anerkennung und huldvolle Auszeichnung; er wurde von Kaiser Wilhelm I. in den erblichen Adelstand erhoben. Zugleich hatte das Erscheinen des ersten Bandes seiner „Wissenschaftlichen Abhandlungen“, dem schon im nächsten Jahre der zweite Band folgte, der wissenschaft-

lichen Welt den staunenswerthen Umfang seiner gewaltigen wissenschaftlichen Leistungen vor Augen geführt.

„Ich finde es besonders erfreulich“, schreibt ihm L. Kronecker, „wie Ihre eigene wissenschaftliche Individualität darin zur Erscheinung gebracht wird. Zeigt die „Inhaltsübersicht“ schon dem Leser die ganz exceptionelle Ausdehnung Ihres Wissens- und Forschungsgebietes, so zeigt dann im Innern jede einzelne Abhandlung dem, der sie gründlich studirt, Ihre Tiefe und Gründlichkeit.“

Und ein Jahr später:

„Dass man, wenn man Helmholtz'sche Denkkraft hat, so tiefe und durchschlagende Gedanken, und wenn man dazu das beispiellose Helmholtz'sche Denkmaterial besitzt, auch so mannigfaltige und umfassende Gedanken haben kann, wie die in Ihren Abhandlungen niedergelegten, ist nicht zu verwundern. Aber dass sich in Ihnen mit der Denk- und Wissensgewalt jene seltene Menschenfreundlichkeit und Arbeitskraft verbindet, welcher die Welt die Idee und die Vollendung, die Herausgabe Ihrer gesammelten Abhandlungen verdankt, das ist es, was meine höchste Bewunderung erregt.“

Es war ein Jahr schwerster wissenschaftlicher Arbeit, in welchem er seine tiefen thermodynamischen Untersuchungen zum Abschluss brachte, welche ihm sogleich wieder den Ausgangspunkt boten für seine staunenswerthe Theorie der Statik monocyklischer Systeme und welche zugleich in den fundamentalen Forschungen über das Princip der kleinsten Wirkung culminirten, die ihn bis an sein Lebensende beschäftigten.

Am 18. September 1882 schreibt er an Thomson:

„Nach zehn Monaten Arbeit habe ich sehr verlangt nach ungestörter Ruhe, für welche ich Pontresina einen der besten Plätze von der Welt gefunden habe. Am 16. October muss ich nach Paris gehen als Mitglied der internationalen Commission des elektrischen Congresses. Mein Faraday-Vor-

trag hat mich zu elektrischen Forschungen geführt; ich hoffe, dass Sie meine erste Notiz über diesen Gegenstand bekommen haben „Ueber thermodynamischen Werth der chemischen Actionen". Eine zweite ist schon gedruckt worden, ein Vergleich der chemischen Energie von Lösungen u. s. w."

Da der Verlust von mechanischer Energie durch Reibung Wärme entstehen lässt, und der Gewinn von mechanischer Energie einen Verlust von Wärme bedingt, da ferner die Menge der verlorenen und gewonnenen Energie proportional ist der Menge der gewonnenen und verlorenen Wärme, so durfte man die Wärme als eine Form der Energie betrachten und gelangte zu der Annahme, dass jedes Partikel eines warmen Körpers sich fortwährend mit beständig variirender Bewegungsrichtung so schnell bewegt, dass dasselbe eine geringe oder gar keine Veränderung seines Ortes im Körper erfährt. Ist dies aber der Fall, so muss ein Theil der Energie eines warmen Körpers die Form der kinetischen Energie haben, und es wird somit die Energie, da jede Art derselben in Wärme umgewandelt werden kann, in der Form von Wärme gemessen werden können. Doch kann man aus dem Princip von der Erhaltung der Kraft nicht entnehmen, ob Arbeit unbegrenzt in Energie der Wärme und letztere unbegrenzt in Arbeit verwandelt werden kann, und wie es sich damit bei all den anderen Naturkräften verhält. Auf diese in praktischer und theoretischer Beziehung so wichtige Bestimmung richtete nun Helmholtz zunächst seine Aufmerksamkeit, indem er untersuchte, ein wie grosser Theil der Wärme, die in einem galvanischen Elemente bei chemischen Processen entwickelt wird, sich als Stromesarbeit wiederfindet, und die Energieformen in verschiedene Rangstufen ordnete, je nachdem sie mehr oder weniger vollkommen in mechanische Arbeit verwandelbar sind.

In seinen fundamentalen Arbeiten „Die Thermodynamik chemischer Vorgänge", welche er am 2. Februar und 27. Juli 1882 der Berliner Akademie vorlegte, entwickelt

er mathematisch formulirte Beziehungen zwischen den Gesetzen der Wärme, der Elektricität und der chemischen Erscheinungen, aus denen sich eine Identität der chemischen Valenzen und elektrischen Potentiale der Atome als wahrscheinlich ergiebt, so dass die elektrochemischen Processe als eine nach den Coordinaten des Raumes geordnete, die Wärme als eine ungeordnete Molekular- und Atombewegung erscheint.

Die Frage nach dem Zusammenhange zwischen der elektromotorischen Kraft von Ketten mit unpolarisirbaren Elektroden und den chemischen Veränderungen, die in jenen vor sich gehen, hatte Helmholtz auf die allgemeinere Frage geführt, welcher Theil der in einem Körper vorhandenen Energie in andere Arbeitsformen umgesetzt werden kann, und ihn zu seinen Arbeiten über die Thermodynamik chemischer Vorgänge geleitet, welche wieder nur die Vorarbeiten zu seinen grossen Untersuchungen über die monocyklischen Systeme bilden. Die Dynamik hatte durch die Einführung der potentiellen Energie, welche von Helmholtz früher als Quantität der Spannkräfte bezeichnet wurde, eine wesentliche Vereinfachung und Verallgemeinerung ihrer analytischen Entwickelungen erreicht. Bei den Anwendungen dieses Begriffes wurden jedoch Aenderungen der Temperatur in der Regel nicht berücksichtigt, weil entweder die Kräfte, deren Arbeitswerth man berechnete, wie z. B. die Gravitationskraft, überhaupt nicht von der Temperatur abhängen, oder weil die Temperatur während der untersuchten Vorgänge als constant oder als Function bestimmter mechanischer Aenderungen angesehen werden konnte, wie z. B. bei der Schallbewegung als Function der Dichtigkeit des Gases. Wenn nun auch die im Werthe der potentiellen Energie vorkommenden physikalischen Constanten, wie die Dichtigkeit u. a., mit der Temperatur variiren, und somit auch diese Energie eine Function der Temperatur ist, so blieb doch die im Werthe jeder potentiellen Energie vor-

kommende Integrationsconstante vollkommen willkürlich für jede neue Temperatur zu bestimmen — man konnte die Uebergänge von der einen zur anderen Temperatur nicht machen.

Die bisherigen Untersuchungen über die Arbeitswerthe chemischer Vorgänge bezogen sich fast ausschliesslich auf die bei Herstellung und Lösung der Verbindungen auftretenden oder verschwindenden Wärmemengen, während doch mit den meisten Veränderungen auch Aenderungen des Aggregatzustandes und der Dichtigkeit der Körper verbunden sind. Diese erzeugen aber oder verbrauchen Arbeit in zweierlei Formen, in der Form von Wärme und in der Form von unbeschränkt verwandelbarer Arbeit. Ein Wärmevorrath ist nicht unbeschränkt in andere Arbeitsäquivalente verwandelbar, sondern das kann immer nur theilweise erreicht werden und nur dadurch, dass wir gleichzeitig den nicht verwandelten Rest der Wärme in einen Körper niederer Temperatur übergehen lassen. Da nun bei den meisten chemischen Vorgängen schon die Veränderungen des Schmelzens, Verdampfens u. a. auch Wärme aus der Umgebung herbeiziehen, so wird man auch bei diesen fragen müssen, in welchem Verhältniss mechanische und thermische Energie erhalten werden können. Wenn man weiter bedenkt, dass auch die chemischen Kräfte allein nicht bloss Wärme, sondern auch andere Formen der Energie hervorbringen können, ohne dass irgend eine der Grösse der Leistung entsprechende Aenderung der Temperatur in den zusammenwirkenden Körpern einzutreten braucht, wie z. B. bei den Arbeitsleistungen der galvanischen Batterien, so muss auch bei den chemischen Vorgängen eine Scheidung vorgenommen werden zwischen dem Theile ihrer Verwandtschaftskräfte, welcher freier Verwandlung in andere Arbeitsformen fähig ist, und dem Theile, welcher nur als Wärme erzeugbar ist. Diese beiden Theile der Energie bezeichnet nun Helmholtz als freie und gebundene Energie.

Er zeigt, dass die Processe, welche aus dem Ruhezustande und bei constant gehaltener gleichmässiger Temperatur des Systems von selbst eintreten und ohne Hülfe einer äusseren Arbeitskraft fortgehen, nur in solcher Richtung verlaufen können, dass die freie Energie abnimmt. Hierher gehören die bei constant erhaltener Temperatur von selbst eintretenden und fortschreitenden chemischen Processe, und es würden somit bei unbeschränkter Gültigkeit des Clausius'schen Gesetzes die Werthe der freien Energie, nicht die der durch Wärmeentwickelung sich kundgebenden gesammten Energie darüber entscheiden, in welchem Sinne die chemische Verwandtschaft thätig sein kann.

Helmholtz greift nun die Untersuchung ganz allgemein an für ein beliebig zusammengesetztes System von Massen, welche alle dieselbe Temperatur haben und alle auch immer die gleichen Temperaturänderungen erleiden, und nimmt an, dass der Zustand des Systems durch die Temperatur und eine Anzahl unabhängiger Parameter vollständig bestimmt ist. Durch eine Reihe scharfsinniger mathematischer Ueberlegungen gelangt er mit Hülfe der beiden Clausius'schen Gleichungen zu dem Resultat, dass die thermodynamischen Gleichungen zu ihrer Darstellung nur die Differentialquotienten des als Function der Temperatur vollständig bestimmten sogenannten Ergals erfordern. Dieses Ergal, welches für alle in constant bleibender Temperatur vorgehenden Veränderungen, wie er zeigt, mit dem Werth der potentiellen Energie für die unbeschränkt verwandelbaren Arbeitswerthe zusammenfällt, bezeichnet er als die freie Energie des Körpersystems, während die Differenz der gesammten inneren Energie und des Ergals die gebundene Energie genannt wird. Der Quotient aus der gebundenen Energie und der Temperatur ist die von Clausius eingeführte Entropie.

Um ferner das, was die theoretische Mechanik bisher als lebendige Kraft oder actuelle Energie bezeichnet hat,

von den Arbeitsäquivalenten der Wärme zu unterscheiden, die doch auch grösstentheils als lebendige Kraft unsichtbarer Molekularbewegungen aufzufassen sind, schlägt Helmholtz vor, erstere als lebendige Kraft geordneter Bewegung zu bezeichnen. Allgemein definirt er als geordnete Bewegung eine solche, bei welcher die Geschwindigkeitscomponenten der bewegten Massen als continuirliche differenzirbare Functionen der Raumcoordinaten angesehen werden können. Eine ungeordnete Bewegung ist dagegen eine solche, bei welcher die Bewegung jedes einzelnen Theilchens keinerlei Art von Aehnlichkeit mit der seiner Nachbaren zu haben braucht. Höchst wahrscheinlich ist die Wärmebewegung von letzterer Art, und er bezeichnet in diesem Sinne die Grösse der Entropie als das Maass der Unordnung.

„Für unsere dem Molekularbau gegenüber verhältnissmässig groben Hülfsmittel ist nur die geordnete Bewegung wieder in andere Arbeitsformen frei verwandelbar; ob eine solche Verwandlung den feinen Structuren der lebenden organischen Gewebe gegenüber auch unmöglich sei, scheint mir immer noch eine offene Frage zu sein, deren Wichtigkeit für die Oekonomie in der Natur in die Augen springt.“

Durch einfache mathematische Ueberlegungen gelangt Helmholtz zu dem Resultat, dass bei allen Veränderungen, bei welchen die Temperatur constant bleibt, Arbeit nur auf Kosten der freien Energie geleistet wird, während die gebundene Energie sich auf Kosten ein- und austretender Wärme ändert. Bei allen adiabatischen Veränderungen wird Arbeit erzeugt auf Kosten der freien wie der gebundenen Energie, die Entropie bleibt hierbei constant. In allen anderen Fällen wird äussere Arbeit auf Kosten der freien Energie geliefert, alle Wärmeabgabe auf Kosten der gebundenen, während bei jeder Temperatursteigerung im System freie Energie in gebundene übergeht.

Mit diesen allgemeinen Folgerungen stimmen nun die

Beobachtungen an galvanischen Elementen überein. Es zeigt sich, dass die gebundene Energie auf Kosten der zugeführten Wärme, und bei Temperatursteigerungen auf Kosten der freien Energie wächst, es wird also stets freie Energie in gebundene übergeführt und nicht umgekehrt. Die freie Arbeit beim isothermen Uebergange ist daher auch bei nicht umkehrbaren Processen nicht durch die entwickelte Wärme ausgedrückt, wenn die Anfang- und Endtemperatur gleich sind, da diese Wärme von der freien und gebundenen Energie herrührt, während die freie Arbeit nur von der ersteren abhängt. Dass die ohne Berücksichtigung von Temperaturänderungen verschwindend kleine Aenderung der freien Energie nicht positiv oder Null ist, wird als Bedingung für das Beharren in dem augenblicklichen Zustande anzusehen sein; wird aber durch Temperatursteigerung ein Punkt erreicht, wo dieselbe negativ wird, dann tritt Dissociation ein. Es müssen daher alle chemischen Verbindungen unterhalb der Dissociationstemperatur Wärme abgeben, wenn sie auf umkehrbarem Wege gebildet werden.

Den neuen Begriff der freien Energie verwerthet nun Helmholtz, um den Zusammenhang der elektromotorischen Kraft einer Kette mit der Dampfspannung zu berechnen.

In der am 3. Mai 1883 der Akademie vorgelegten Arbeit „Zur Thermodynamik chemischer Vorgänge. Folgerungen, die galvanische Polarisation betreffend", wendet er die früher entwickelten thermodynamischen Theoreme auf die Theorie der galvanischen Polarisation an und legt derselben deshalb eine grosse Wichtigkeit bei,

„weil sich zeigt, dass der Ueberschuss freier Energie des Knallgases über die des Wassers in hohem Grade von dem Druck abhängt, während die Wärmeentwickelung bei der Verbindung davon fast unabhängig ist. So lange man die elektromotorische Kraft der Polarisation nach letzterer berechnen zu müssen glaubte (was ich selbst in meinen früheren Arbeiten gethan habe), musste sie als eine fast

unveränderliche Grösse erscheinen, und das machte gewisse Vorgänge bei der Polarisation eines Voltameters fast unerklärlich. Wenn man aber die elektromotorische Kraft nach der freien Energie berechnet, so erscheint sie im höchsten Grade veränderlich nach der Gassättigung der letzten den Elektroden anliegenden Flüssigkeitsschichten, und dadurch wird die Erklärung eines grossen Theiles der Polarisationserscheinungen wesentlich verändert, und das meiste, was bisher räthselhaft war, erscheint verständlich.“

Helmholtz hatte in seiner früheren Arbeit aus dem Jahre 1873 gezeigt, dass in der Flüssigkeit aufgelöste Gase, besonders Sauerstoff, auf die Stärke der Ströme, deren unbegrenzte Dauer bei schwächeren elektromotorischen Kräften unerklärt geblieben, vom grössten Einfluss sind, und hatte dort das Zustandekommen der davon abhängigen Convectionsströme erklärt; Versuche, um die letzten Spuren gelöster Gase vollständiger zu entfernen, waren ohne Erfolg geblieben. Auch die Gegenkraft der Polarisation stieg noch immer mit der Steigerung der Kraft der galvanischen Batterie, wenn längst schon lebhafte Gasentwickelung vorhanden war. Diese Schwierigkeiten glaubt nun Helmholtz durch seine thermodynamische Theorie gelöst zu haben, indem aus dieser ersichtlich, dass der dem elektrischen Strome entgegenwirkende Widerstand der chemischen Kräfte durch die Auflösung der an den Elektroden ausgeschiedenen Gase in der Flüssigkeit fortdauernd wächst. Schliesslich wendet er noch seine Theorie auf die Bildung der Gasblasen nach Sättigung der den Elektroden benachbarten Schichten mit Gas an und berechnet die der Diffusion des Gases durch die Flüssigkeit entsprechende Arbeit.

Er legt den thermodynamischen Untersuchungen überhaupt eine überaus grosse Wichtigkeit für die wissenschaftliche Entwickelung der Chemie bei und spricht sich in einem Briefe aus dem Jahre 1891 in interessanter Weise darüber aus:

„Nernst hat sich mit vollem Eifer in die neuesten Wendungen der physikalischen Chemie geworfen, die von dem Holländer van't Hoff ausgingen und von Professor Ostwald in Leipzig in dessen Journal mit grossem Eifer vertheidigt werden. Diese Theorien haben sich schon vielfältig als höchst fruchtbar erwiesen und zu einer Menge thatsächlich richtiger Folgerungen geführt, obgleich in ihnen einige willkürliche Annahmen stecken, die mir nicht erwiesen erscheinen. Die Chemiker brauchen aber diese Annahmen (über Dissociation eines Theiles der zusammengesetzten Molekeln von aufgelösten Salzen), um sich eine anschauliche Vorstellung von den Vorgängen zu bilden, und man muss sie in ihrer Weise gewähren lassen, da sich das ganze ungeheuer umfassende System der organischen Chemie in der unrationellsten Weise entwickelt hat, immer angeheftet an sinnliche Bilder, die in der vorgetragenen Weise unmöglich richtig sein konnten. Es steckt in dieser ganzen Richtung ein gesunder Kern, die Anwendung der Thermodynamik auf die Chemie, der auch bei Planck viel reiner hervortritt. Aber die thermodynamischen Sätze in ihrer abstracten Form sind nur durch streng geschulte Mathematiker zu fassen und also schwer zugänglich für diejenigen Leute, welche die Versuche über die Lösungen und deren Dampfspannungen, Frostpunkte, Lösungswärmen u. s. w. ausführen sollen.“

In einer Aufzeichnung, die wahrscheinlich als Einleitung zu seiner dritten Abhandlung über Thermodynamik aus dem Jahre 1883 bestimmt war, setzt er in klarer und leicht fasslicher Weise die Gründe aus einander, die ihn zur Einführung der Begriffe der freien und gebundenen Energie geführt haben, und lässt zugleich erkennen, in welcher Weise er die Fortführung dieser Untersuchungen geplant hatte, wenn er nicht durch Verallgemeinerung aller dieser Betrachtungen auf viel umfassendere Probleme geführt worden wäre.

„Die bisherigen thermochemischen Untersuchungen be-

zogen sich fast ausschliesslich auf die Wärmemengen, welche durch chemische Processe hervorgebracht werden, wenn den chemischen Verwandtschaftskräften ungehindertes Spiel gelassen wird, so dass die Vereinigung der verwandten Stoffe in mehr oder weniger stürmischer Weise vor sich geht. Dabei wird als Arbeitsäquivalent der chemischen Kräfte meist nur Wärme erzeugt, oder wenigstens nur unbedeutende Beträge anderer Arbeitsformen, unter denen die Ueberwindung des Druckes der Atmosphäre verhältnissmässig am häufigsten eine Rolle spielt. Bei den thermochemischen Untersuchungen strebt man dann in der Regel danach, festzustellen, wie viel Wärme die Endproducte des chemischen Processes abgegeben, oder auch aufgenommen haben, wenn sie wieder auf die Temperatur ihrer anfänglichen Zustände zurückgekommen sind, in denen sie vor der Eingehung des chemischen Processes sich befanden. Eventuell sind hierzu die Wärmeäquivalente der noch ausserdem geleisteten oder erlittenen (d. h. negativ geleisteten) Arbeit zu addiren.

Man gewinnt durch dieses Verfahren das Wärmeäquivalent des ganzen Energievorraths, den die betreffenden Stoffe in ihrem Anfangszustande mehr gehabt haben, als in ihrem Endzustande. Das ist die durch unzählige mühsame und höchst dankenswerthe neuere Untersuchungen wohlgesicherte Grundlage der Thermochemie, entsprechend dem allgemeinen Princip von der Constanz der Energie.

Meistentheils wird diese Arbeit der chemischen Kräfte nur in Form von Wärme gewonnen, unter Umständen aber können wir auch direct andere Arbeitsleistungen, mechanische oder elektrische, durch sie erhalten. Die Wärme spielt nach dem von Clausius strenger gefassten Carnot'schen Gesetze eine eigenthümliche Rolle unter den übrigen Arbeitsäquivalenten. Während die übrigen frei und ohne wesentlichen Rest in einander übergeführt werden können, ist die Verwandelbarkeit der Wärme beschränkt, so lange wir in den uns erreichbaren Temperaturgrenzen zu bleiben ge-

zwungen sind. Wir können immer nur einen Bruchtheil der vorhandenen Wärme in andere Arbeitsformen verwandeln, während der Rest dieser Wärme aus höherer in niedere Temperatur übergeführt wird. Wenn wir mit ϑ_0 die niedrigste absolute Temperatur (d. h. Temperatur von —273° C. als Nullpunkt ab gerechnet) bezeichnen, in welche wir unseren Wärmevorrath abfliessen lassen können, und ϑ_1 die Anfangstemperatur ist, so müssen wir den Bruchtheil ϑ_0/ϑ_1 unverwandelt abfliessen lassen, um den Rest $(\vartheta_1 - \vartheta_0)/\vartheta_1$ in Arbeit verwandeln zu können. Je höher also die Temperatur ϑ_1 ist, desto mehr von dem gegebenen Wärmevorrath können wir in mechanische Arbeit verwandeln.

Um diesen Gegensatz kurz zu bezeichnen, der bei der Frage nach der Leistungsfähigkeit der chemischen Kräfte von erheblicher Wichtigkeit ist, habe ich mir erlaubt, die frei und ohne nothwendigen Rest in einander verwandelbaren Arbeitsäquivalente der verschiedensten Naturkräfte unter dem Namen der freien Energie zusammenzufassen, die Wärmevorräthe dagegen als gebundene Energie zu bezeichnen. Zu den ersteren gehören z. B. die Energie eines gehobenen Gewichts, einer gespannten elastischen Feder, die lebendige Kraft einer als Ganzes bewegten Masse, eine Ansammlung von ruhender Elektricität in einem Conductor u. s. w. Dass dieselben „ohne nothwendigen Rest“ in einander verwandelbar sein sollen, soll nur sagen, dass man bei vorsichtiger Führung des Processes den Rest, welcher z. B. durch Reibung, elastische Nachwirkung, Leitungswiderstand u. s. w. verloren geht und in Wärme verwandelt wird, beliebig klein machen kann. Verwandlung ohne Rest ist für unsere irdischen Verhältnisse immer nur als eine ideale Grenze zu betrachten, der wir uns mehr oder weniger nähern können. Dennoch ist ein grosser Unterschied zwischen diesen Verlusten der frei verwandelbaren Energie und denen, die wir bei der Wärme finden, wo ein bedeutender und durch keine uns bekannten Vorsichts-

maassregeln zu verkleinernder Bruchtheil nothwendig Wärme bleiben muss.

Wir wissen nun schon, dass chemische Kräfte nicht bloss Wärme entwickeln, sondern auch mechanische Arbeit leisten können, entweder unmittelbar oder dadurch, dass sie elektrische Ströme in Gang setzen. Es tritt also die Frage auf, welcher Theil ihrer Arbeit entspricht freier Energie? welcher andere kann dagegen ausschliesslich in der Form von Wärme erscheinen? Es ist bekannt, dass ausserordentlich viele chemische Aenderungen des Aggregatzustandes vorkommen; dabei wird also Wärme frei oder gebunden. Von dieser letzteren wissen wir aber schon, dass sie den Beschränkungen des Carnot'schen Gesetzes anheimfällt. Auch ist längst bei den thermochemischen Untersuchungen berücksichtigt und nachgewiesen worden, dass diese Bindung und Entbindung von Wärme bei Aenderung der Aggregatzustände ihre Rolle spielt; ja dass wir von selbst eintretende und von selbst weitergehende chemische Processe haben können, wie bei der Mischung von Schnee und Kochsalz, bei welcher Kälte erzeugt, und also Wärme von aussen hinzugeleitet werden muss, um die frühere Temperatur herzustellen. Hier hat also das entstandene Salzwasser mehr innere Energie, als das trockene Salz und der Schnee vorher gehabt haben.

Weiter ist aber klar, dass die plötzlichen Aenderungen der Aggregatzustände nur die auffallendsten Fälle solcher Bindung und Entbindung von latenter Wärme vorstellen. Man hat genau dasselbe Recht, wenn ein Gas sich ausdehnt, die eintretende Abkühlung als eine Bindung von Wärme zu bezeichnen; zwar wird bei langsamer Dehnung diese in letzterem Falle gleich wieder ganz oder fast ganz in mechanische Arbeit verwandelt, aber auch in der latenten Wärme des Wasserdampfes ist die durch Ueberwindung des auf den Dämpfen lastenden Druckes geleistete Arbeit mit einbegriffen. Bei plötzlicher Ausdehnung eines Gases ohne Widerstand,

wie in Joule's Versuch, tritt freilich keine Abkühlung ein, aber nur weil die anfangs bei der stürmischen Bewegung des Gases in der lebendigen Kraft dieser Bewegung geleistete Arbeit durch Reibung wieder in Wärme zurückverwandelt wird. Wenn aber Bindung von Wärme bei so leichten Zustandsänderungen, wie die Volumenänderung eines Gases ist, vorkommt, so werden wir entsprechende Bindungen und Entbindungen von Wärme bei all den zahllosen Aenderungen der Aggregation und Dichtigkeit erwarten müssen, die bei fast allen chemischen Processen eintreten. Und ebenso wenig wie bei der latenten Wärme des Dampfes erscheint es zweifelhaft, dass alle die hier besprochenen Wärmemengen zu der unter dem Carnot'schen Gesetz gebundenen Energie zu rechnen sein werden, also als Wärme zu betrachten sind, die schon in den anfänglichen Zuständen der Stoffe als Wärme fertig vorhanden war, in den Endzuständen bei derselben Temperatur keinen Platz mehr findet und entweicht. Aber ebenso gut kann der entgegengesetzte Vorgang eintreten. Die Endzustände können eine grössere Menge latenter Wärme bei derselben Temperatur fordern, und die Anfangstemperatur wird nur auf Kosten der Wärme der umgebenden Körper hergestellt werden. Im ersteren Falle wird die Wärmetönung (rein chemisch entwickelte Wärme) vermehrt erscheinen, im zweiten vermindert.

Wenn es sich nun darum handelt, zu finden, welches die grösste Menge freier Energie ist, die durch chemische Vorgänge gewonnen werden kann, so sind hier ganz dieselben allgemeinen Betrachtungen maassgebend, welche schon Carnot dafür angestellt hat. Man muss dafür sorgen, dass die ganze Veränderung in reversibler Weise vor sich gehe, d. h. die wirkenden Kräfte müssen von anderen Kräften, die der Beobachter unter Controlle hat, so im Gleichgewicht gehalten werden, dass der ganze Process langsam, ruhig, ohne Entwickelung stürmischer Bewegungen, deren lebendige

Kraft durch Reibung und Stoss in Wärme verwandelt werden könnte, vor sich gehen. Ueberhaupt müssen Reibung, unelastischer Stoss und Uebergang von Wärme zwischen Körpern verschiedener Natur vermieden werden. Die Umkehrbarkeit des Vorganges ist dann eben dadurch bedingt, dass bei vollkommenem Gleichgewicht der inneren und äusseren Kräfte der Beobachter es in seiner Gewalt hat, durch geringe Verstärkung der letzteren den Vorgang rückwärts gehen zu lassen . . .

Aber nicht bloss bei der praktischen Aufgabe, Triebkräfte für andere Zwecke mittelst der chemischen Kräfte zu gewinnen, sondern auch im Gebiete der chemischen Erscheinungen selbst spielt diese Trennung zwischen freier und gebundener Energie eine wesentliche Rolle. Ein chemischer Process kann nämlich nicht von selbst eintreten und nicht ohne Unterstützung durch äussere Triebkräfte weiter gehen, wenn nicht durch denselben die Gesammtsumme der freien Energie der mitwirkenden Körper vermindert wird...“

Am 5. April 1883 legte Helmholtz der Berliner Akademie eine kurze Note vor „Bestimmung magnetischer Momente mit der Waage“, deren Inhalt er in etwas anderer Form in der folgenden Aufzeichnung klarer skizzirt hat:

„An den Bügeln, welche die Schalen einer sehr empfindlichen chemischen Waage tragen, werden zwei Magnetstäbe aufgehängt, der eine vertical, der andere am anderen Bügel horizontal, so dass seine Axe der Mitte des verticalen Magneten zugewendet ist. Wenn der Nordpol des ersteren nach oben, der des horizontalen Magneten gegen den verticalen gekehrt ist, so strebt der horizontale Magnet den verticalen nach aufwärts, und der verticale den horizontalen nach abwärts zu schieben. Man muss also auf die Schale des horizontalen Magneten etwas weniger Gewicht auflegen, als wenn die Stäbe nicht magnetisch wären, um die Waage einspielen zu machen. Kehrt man einen der Magneten um, so bekommen die magnetischen Kräfte die

umgekehrte Richtung, und man muss auf Seite des horizontalen Magneten Gewichte hinzulegen, um das Gleichgewicht der Waage wieder herzustellen. Kehrt man gleichzeitig beide Magnete um, so bleibt dagegen die frühere Art der Wirkung bestehen, und wenn Unterschiede der Stellung eintreten, so sind diese von permanentem Magnetismus in den Eisentheilen der Waage abhängig. Letztere können aus dem Wägungsresultat eliminirt werden, wenn man die Mittel aus je zwei Stellungen nimmt, in denen beide Magnete entgegengesetzte Richtung gehabt haben. Dagegen kann man die Wirkung temporärer Magnetisirung weichen Eisens der Waage nicht eliminiren, wenn man nicht eine eisenfreie Waage benutzt, deren Herstellung ich vorbereitet habe. Der Gewichtsunterschied bei Umdrehung des einen Magneten würde bei geringer Länge der Magnete $G = \frac{12\, m_1\, m_2}{r^4}$ sein, wo die beiden m die Momente der Magnete sind, r die Entfernung ihrer Mittelpunkte, beziehlich der beiden Schneiden der Waage von einander. Hat man drei Magnetstäbchen, die man an der Waage mit einander vertauschen kann, so kann man das Moment jedes einzelnen nach absolutem Werthe bestimmen. Auch mit einer eisenhaltigen Waage kann man die richtige Controlle ausführen, ob ein gegebenes Paar von Magnetstäben oder noch besser eine Dreizahl derselben ihr Moment bewahrt, beziehlich in welchem Verhältniss sie es geändert haben. Namentlich für alle Messungen von Stromintensitäten scheint es mir zweckmässiger, diese in ihrer elektromagnetischen Wirkung mit den sich nur langsam ändernden magnetischen Kräften gut gehärteter Magnetstäbe zu vergleichen als mit dem ewig schwankenden Erdmagnetismus. Wie die Correctionsglieder zu bestimmen sind, wenn die Länge der Magnete nicht sehr klein im Vergleich mit dem Abstande der Schneiden der Waage ist, wird einer späteren Veröffentlichung vorbehalten.“

Noch in demselben Jahre veranlasste das preussische

Cultusministerium auf Helmholtz' Veranlassung seinen Assistenten Heinrich Hertz, sich mit Aussicht auf baldige Beförderung in Kiel zu habilitiren, und nun übernahm dieser von Helmholtz, welcher ganz anderen Gebieten seine productive Thätigkeit zugewandt, die Aufgabe, auf Grund der Faraday-Maxwell'schen Hypothese in die schwierigen und noch immer unerledigt gebliebenen Fragen der Elektricitätslehre tiefer einzudringen. Schon in Berlin hatte Hertz in dem Helmholtz'schen Institut die Arbeit begonnen, die er noch in diesem Jahre in Kiel beendete, und welche unter dem Titel „Versuche über die Glimmentladung" sich mit der bei den Erscheinungen der Kathodenstrahlen und des geschichteten positiven Lichtes in evacuirten Gefässen auftretenden Entladungsform beschäftigt. Hertz findet, dass die Kathodenstrahlen eine Magnetnadel nicht ablenken, also nicht die elektrodynamische Wirkung von Strömen haben, und betrachtet hiernach die Kathodenstrahlen nur als eine Begleiterscheinung des Stromes, nicht selbst als Ströme.

„Ich habe mit dem grössten Interesse Ihre Arbeit über die Glimmentladung gelesen", schreibt ihm Helmholtz am 29. Juli 1883, „und kann nicht umhin, Ihnen mein Bravo schriftlich zuzusenden. Die Sache scheint mir von der grössten Tragweite zu sein. Ich trage mich seit einiger Zeit mit dem Gedanken, ob nicht die Kathodenstrahlen die Ausbreitungsform eines plötzlichen Stosses auf den Maxwell-schen elektromagnetischen Aether sind, wobei die Elektrodenfläche die erste Wellenfläche bildete. Denn so weit ich sehe, müsste eine solche Welle sich genau so ausbreiten, wie jene Strahlen es thun. Dann würde auch Ablenkung der Wellen durch Magnetisirung des Mediums möglich sein, Longitudinalwellen wären leichter vorzustellen und könnten existiren, wenn die Constante k meiner elektrischen Arbeiten nicht Null wäre. Aber auch Transversalwellen könnten zu Stande kommen. Wie es scheint, hegen Sie

ähnliche Gedanken; aber, wie es auch sei, genieren Sie sich nicht in der Verwendung der eben ausgesprochenen, denn ich habe für jetzt keine Zeit, sie auszuarbeiten und sie drängen sich beim Lesen Ihrer Arbeit so von selbst auf, dass Sie sie nothwendig bald finden würden, wenn Sie sie noch nicht gefunden haben.

Nun ist aber ein Einwand mir aufgestossen gegen Ihre Versuche, der sich vielleicht noch vollständiger beseitigen lässt, als bisher geschehen und der jedenfalls erörtert werden müsste. Nämlich wenn die Kathodenstrahlen der früheren Ansicht gemäss elektrische Ströme sind, so müssten sie nothwendig auch einen zurückführenden unsichtbaren Theil, etwa in der Nähe der Gefässwand haben. Das ist ein Punkt, den ich oft mit Dr. Goldstein discutirt habe. Dann würden sie in dem cylindrischen Gefässe ebensowenig wie die eigentlichen geschlossenen Ströme nach aussen magnetisch wirken können, weil sie Ringmagnete bilden. In dem viereckigen Gefässe bleibt dann immer noch die Möglichkeit, sich die unsichtbaren rückführenden Ströme so vorzustellen, dass die beobachtete Wirkung herauskommt. Ich sehe wohl, dass eine solche Deutung wenig wahrscheinlich ist, da die Kathodenstrahlen ein concentrirtes Bündel bilden, und ich glaube selbst nicht an die Wahrscheinlichkeit; aber ich fürchte, es ist ein Bedenken, was vielen Lesern sehr nahe liegt.“

Die umgehende, auf die Ansichten und Einwände von Helmholtz eingehende, höchst interessante Antwort von Hertz lautete:

„Ich sage Ihnen meinen innigsten Dank für die gütigen Zeilen, welche Sie mir gesendet haben, Ihre Worte sind zugleich der stärkste und der angenehmste Sporn zur Thätigkeit, welcher mir werden kann. Darf ich zur Sache einige Bemerkungen machen? Ich möchte Ihnen nicht damit lästig fallen, aber ich schreibe sie für den Fall, dass Sie dieselben lesen wollen. Ich habe mir in der That

ähnliche Gedanken gemacht wie die von Ihnen ausgesprochenen, am liebsten habe ich geradezu gedacht, dass die Kathodenstrahlen durch die Longitudinalwellen gebildet werden, welche den Transversalschwingungen des Lichtes entsprechen. Denn es scheint mir, als müssten in einem Medium, in welchem die Polarisationsebene transversaler Wellen sich dreht, die Longitudinalwellen sich krummlinig ausbreiten und als sei der Sinn der Drehung für das Licht und die Kathodenstrahlen derselbe. Denn wenn der Pfeil x y die Richtung des positiven Stromes bezeichnet, welcher ein magnetisches Feld erzeugt, so wird für alle bisher untersuchten Gase die Polarisationsebene im Sinne dieses Pfeiles gedreht (Figur mit A, C, x, y, D, B), es erzeugt also allemal eine Kraft, die nach AB wirkt, eine Verschiebung, die dazu geneigt ist, wie CD. Es werden also auch longitudinale Impulse in einer nach rechts abgelenkten Curve sich ausbreiten. Nach rechts aber würde auch ein elastischer Draht gedrückt werden, in welchem ein zur Kathode hin gerichteter positiver Strom flösse, und es wäre daher eine Verwechslung beider Phänomene möglich. Es fragt sich allerdings, ob diese einfachen Ueberlegungen bei einer genaueren Anwendung der Theorie Stand halten werden, ich habe eine solche nicht versucht, weil ich, wahrscheinlich irrthümlich, die Theorie für nicht genug ausgebildet hielt.

Als eine Uebereinstimmung beider Erscheinungen kann vielleicht auch das folgende gefasst werden: Je mehr man evacuirt, desto weniger wirkt der Magnet auf die Strahlen, desto steifer werden dieselben, wie Herr Dr. Goldstein es ausdrückt. Dies deutet vielleicht an (obgleich auch eine andere Auffassung möglich ist), dass der Magnet auf die Kathodenstrahlen wie auf das Licht nur indirect, vermittelst der ponderabeln Materie, einwirkt. Es wäre dann allerdings der Einfluss der magnetischen Materie auf die

Kathodenstrahlen unendlich viel stärker als auf das Licht, aber da der gleiche Unterschied in Bezug auf die Absorption unzweifelhaft stattfindet, so kann er weniger verwundern.

Im Allgemeinen erregen die Kathodenstrahlen in den festen Körpern dieselbe Fluorescenz wie das Licht. Ich glaube aber nicht, dass man nöthig hat, deshalb anzunehmen, dass sie sich zunächst in optische Strahlen umsetzen. Eher kann man diese Thatsache durch das umgekehrte Verhältniss erklären. Denn indem die Transversalwellen des Lichtes im Innern der Körper zerschellen, werden sie auch zur Entstehung von Longitudinalwellen Anlass geben, und es ist dann nach unserer Anschauung ganz natürlich, dass diese sogleich wieder vernichtet werden unter Erzeugung desselben Leuchtens, welches die langen Kathodenstrahlen des luftleeren Raumes erzeugen.

Ich habe auch versucht, Beugungserscheinungen herzustellen, indem ich dünne Kathodenstrahlen durch Gitter hindurchgehen liess, aber diese Versuche blieben ganz erfolglos. Indessen waren sie auch nicht der Art, dass sie irgend etwas gegen die Ansicht beweisen könnten.

Dies, hochverehrter Herr Geheimrath, sind ungefähr die Gedanken, welche ich mir über den Gegenstand gemacht habe. Die Erscheinungen zum Nutzen der Elektrodynamik, etwa zur Bestimmung von k verwenden zu können, habe ich bisher keine Hoffnung gehabt, da die einzige scharf messbare Erscheinung, nämlich die Wirkung des Magneten, ganz wesentlich von der ponderabeln Materie bedingt zu sein scheint. Ich werde über diesen Punkt und über den Einwand, auf welchen Sie mich aufmerksam machen, nachdenken. Den letzteren, glaube ich, kann man vollständig widerlegen, wenn es gelingt, einen schärferen Nachweis zu liefern, dass Kathodenstrahlen ohne alle elektrostatischen Differenzen möglich sind.

Ich habe nur noch, hochverehrter Herr Geheimrath, Ihnen meinen aufrichtigen und wärmsten Dank zu wieder-

holen und verbleibe in tiefster Ehrfurcht Ihr ergebenster H. Hertz."

Am 20. Juni 1883 schrieb Helmholtz seiner Frau, die in der Mitte des Mai zur Beerdigung ihres Onkels Julius von Mohl nach Paris gereist war:

„Gestern war Geheimrath Herzog da und brachte mir eine Einladung zu einer Reise in 67 Tagen an den Stillen Ocean und zurück, vom 15. August bis 22. October zur Eröffnung des Northern Pacific Railway als Gast der Compagnie; 30 hervorragende Männer Deutschlands sollen eingeladen werden, wahrscheinlich gehen Graf Lerchenfeld, Minister Krüger, Georg Bunsen, Gneist, Reichstagspräsident von Levetzow mit. Herzog verspricht fürstlichen Luxus der Reise und des Empfangs. Will man sich Amerika noch in diesem Leben besehen, so wäre dies vielleicht die günstigste Gelegenheit, die man sich denken kann. Ich habe deshalb noch nicht nein gesagt, obgleich mancherlei Hindernisse sind, und es eigentlich nicht nöthig ist, dass man Amerika sieht, wenigstens nicht für das, was ich in der Welt zu thun habe."

Seine Frau war nicht damit einverstanden, dass er sich den unvermeidlichen Anstrengungen dieser Reise aussetze; er lehnte daraufhin die Einladung ab.

„Reiselust habe ich überhaupt eigentlich noch nicht", schreibt er ihr noch am 1. August, während sie wegen der andauernden Fieberzustände ihres Sohnes Robert in einem englischen Seebade weilte. „Ich habe gerade interessante Experimente vor, die gut zu gehen anfangen, habe meine neue magnetische Waage in guter Ausführung erhalten. Aber ich merke die Vorläufer von beginnendem Abgearbeitetsein, welche zeigen, dass es nicht mehr lange so weitergehen würde; und das Pontresinaklima erlaubt kein Hinausschieben."

Nachdem er sich im Laufe des Sommers noch mit experimentellen elektrochemischen Studien beschäftigt, über

die er W. Thomson mit dem Bemerken Rechenschaft giebt, dass die Verhandlungen der internationalen elektrischen Commission ihn zu einer Verbesserung der elektrodynamischen Strommessungen geführt haben, „aber nur für Laboratorien, um die Genauigkeit von mindestens $^1/_{1000}$ zu erreichen, die er für seine elektrischen Studien brauche", weiss er in Pontresina sich wieder durch grössere Ausflüge von seinen wiederholten Migräneanfällen zu heilen. Von dort kehrt er direct nach Berlin zurück, um an einigen Berathungen im Ministerium Theil zu nehmen:

„Ich komme ganz gern auf kurze Zeit nach Berlin, besonders auch, da ich auf wichtige Theoreme gestossen bin, über die ich Litteratur nachsehen möchte . . ., ich habe mich mit physikalischen Ueberlegungen ganz gut unterhalten; sie haben, wie mir's scheint, sogar ein nicht unwichtiges Ergebniss gehabt, was, soviel ich weiss, bisher kein Anderer anzugreifen wusste, Wärme betreffend."

In der Mitte des October reiste er sodann direct von Berlin nach Rom zum geodätischen Congress, während dessen Dauer er im Istituto fisico della Università bei Blaserna wohnte. Derselbe entwirft mir von seinem Aufenthalte daselbst in einem Briefe die nachfolgende interessante Schilderung:

„Im October 1883 fand in Rom eine Conferenz der internationalen Gesellschaft für die Messung der verschiedenen Erdgrade statt. Helmholtz gehörte zur Gesellschaft, kam in Folge dessen nach Rom und nahm wie gewöhnlich einen sehr grossen Antheil an den Arbeiten der Conferenz. Er erwies mir die Ehre und das grosse Vergnügen, in meinem Hause abzusteigen. Wie bei solchen Conferenzen geschieht, hatte ich auch eine Einladung erhalten, an den Verhandlungen Theil zu nehmen; aber ich war damals durch viele andere Arbeiten in Anspruch genommen, und konnte nur selten, und daher nicht systematisch, den Sitzungen der Conferenz beiwohnen. Wir lebten daher, Helmholtz

und ich, als garçons, beinahe unabhängig von einander. Manchmal sahen wir uns nur beim Diner. Aber ich sorgte dafür, dass an der Mahlzeit täglich einige Freunde theilnahmen, gerade die, die er am liebsten zu sehen wünschte.

Damals war unsere grosse Schauspielerin, die Duse, nach Rom gekommen, und es war dies das erste Jahr, in dem sie so rechte Anerkennung fand. Sie spielte im Teatro Valle, und wirklich ganz entzückend. Sie war damals in ihrer ganzen Entwickelung, so vollkommen aus sich heraus, und hatte nicht den übertriebenen und etwas manierirten Ton, den sie später durch das viele Spielen vor einem sich stets erneuernden und stets fremden Publicum, das überdies ihre Sprache nur unvollkommen verstand, nothwendig annehmen musste. Wir gingen alle Abende ins Theater, und es war interessant zu sehen, welch regen Antheil Helmholtz an den feinsten und kleinsten Details ihres ungemein reichen Spieles nahm. Er überraschte mich auch mit seinen ausgedehnten und gründlichen Kenntnissen des modernen französischen Theaters. Eines Abends erwarteten wir Fedora und da wir etwas zu früh gekommen waren, erzählte er mir den Inhalt des Sardou'schen Stückes mit einer geradezu überraschenden Genauigkeit.

Wie gesagt, nahm Helmholtz einen innigen Antheil an dem Spiele der Duse, und war für alles sehr empfänglich. Zum Schlusse suchte jeder von uns heimlich eine Thräne zu entfernen, ohne es zeigen zu wollen. Nur Helmholtz war auch hierin aufrichtig. Er zog sein grosses weisses Taschentuch hervor und wischte sich unerschrocken beide Augen aus!

Helmholtz hatte ein reges Interesse für alle unsere Kunstschätze und Alterthümer. Wenn er einen Nachmittag frei hatte, gingen wir zusammen zum Cäsaren-Palast, und er hörte mit Interesse den Ausführungen zu, die ihm mein leider verstorbener Freund Prof. Tommasi-Crudele gab. Er war überhaupt die reichste Natur, die mir je vorgekommen ist. Prof. Engelmann sagte in seiner Gedächtniss-

rede, dass wie um Homer sich sieben Städte stritten, ebenso streiten sich sieben Wissenschaften um Helmholtz. Aber man muss noch mehrere Künste hinzufügen. In meinem langen Zusammenleben mit ihm kann ich mich nicht erinnern, dass auch nur ein einziges Argument, wie immer beschaffen, ihm fremd oder inhaltlos vorgekommen wäre; er interessirte sich für alles.“

Helmholtz entwirft seiner Frau eingehende Schilderungen von all' den Eindrücken, die er in Rom empfangen, und freut sich auch mit seinem Sohne Robert, der mit grossem Eifer chemischen, physikalischen und mathematischen Studien oblag, in eine wissenschaftliche Correspondenz treten zu können. Er schreibt demselben am 20. October aus Rom:

„Was Deine Experimentirfragen betrifft, so halte ich es für gut, wenn Du untersuchst, ob elektrisirte Luft eine Doppelschicht an der Oberfläche eines Conductors giebt. Nimm einen Kohlrausch-Condensator mit rein geputzten Platten, untersuche die Spannung zwischen beiden. Lade dann die eine vorübergehend mit einer Elektrisirmaschine, während sie durch eine kleine Flamme, die keinen Wasserniederschlag giebt, entladen wird, und bringe sie dann wieder in den Condensator, siehe ob die Spannungsdifferenz unverändert geblieben ist. Mache es dann ebenso mit der entgegengesetzten E. Bei den Versuchen, die Du beschreibst, müsste eine ausserordentlich genaue Controlle eintreten, ob die aufgehängte Platte symmetrisch zu den elektrischen Kugeln steht.“

Mit dem Winter 1883/84 beginnt für Helmholtz eine Zeit gewaltigen mathematischen Schaffens und Ringens nach der Erkenntniss eines einheitlichen, die Natur beherrschenden Princips, welches alle Gedanken des grossen Naturforschers während des letzten Jahrzehnts seines Lebens bis in seine letzten Stunden hinein beherrschte.

Er war durch seine thermodynamischen Arbeiten zu

den allgemeinen Untersuchungen über monocyklische Systeme und der tieferen Bedeutung des Princips der kleinsten Wirkung geführt worden; aber die Schwierigkeiten der Ausführung seiner Ideen häuften sich sehr bald, und seine Zeit war durch die verschiedensten Amtspflichten aufs Aeusserste in Anspruch genommen. Seine experimentellen und mathematischen Vorlesungen, die Leitung des physikalischen Instituts, die Vorlesungen an der militärärztlichen Akademie waren es nicht allein, welche ihn immer wieder in der Vertiefung seiner Gedanken hinderten. Technische Gutachten der verschiedensten Art waren nicht abzuweisen, alle erwarteten von ihm als höchster Autorität ein abschliessendes Urtheil; wir finden an den verschiedensten Stellen Gutachten über die Anlage von Blitzableitern zum Schutze der mit Erde ummantelten Kriegspulvermagazine, über die Resultate der Ballonfahrten und andere Dinge der mannigfachsten Art; ausserdem waren es musikalische Interessen, künstlerische Interessen überhaupt, denen er sich nicht entziehen konnte und wollte — aber trotzdem entwickelten sich in ihm die tiefen und fruchtbringenden Gedanken, welche wir nachher anzudeuten versuchen werden, in rascher Folge.

Schon am 7. Januar 1884 schreibt er an W. Thomson:

„Ich selbst bin noch immer mit dem Thema der monocyklischen Bewegungen beschäftigt und habe jetzt weitgehende Verallgemeinerungen gefunden, die sich an eine verallgemeinerte Form von Hamilton's Princip der Mechanik anschliessen. Warten Sie mit dem Studium der monocyklischen Systeme bis zu der späteren Abhandlung; Sie haben es dann bequemer.“

Noch vor den Osterferien legte er einen Theil der Resultate seiner Untersuchungen der Berliner Akademie vor, musste aber aus Rücksicht auf seine Gesundheit die Arbeit unterbrechen und reiste unmittelbar nach Schluss der Vorlesungen mit seiner Tochter Ellen nach England.

Nachdem er in London Tyndall, Herbert Spencer, Sir John Lubbock, Huxley und den Director von Kew Gardens Hooker gesehen hatte, verlebte er sehr anregende Tage bei Sir Henry Roscoe in Manchester, „mit dem er viel zu besprechen hatte über seine letzten Arbeiten über die Beziehungen der Chemie zur Wärme“. In Glasgow öffnete sich ihm die alte liebgewordene Heimath bei Sir William Thomson, den er mit Regulatoren und Messapparaten für elektrische Beleuchtung und für die elektrische Bahn vollauf beschäftigt fand.

„In Summa“, schreibt er seiner Frau, „habe ich doch den Eindruck, dass Sir William seinen eminenten Scharfsinn besser verwenden könnte als für die industriellen Aufgaben; seine Instrumente erscheinen mir zu subtil, um sie wenig unterrichteten Arbeitern und Beamten in die Hand geben zu können, und die von Siemens und Hefner v. Alteneck erscheinen mir viel zweckentsprechender. Daneben wälzt er noch immer weitgehende theoretische Gedanken in seinem Kopfe herum, aber kommt nicht mehr zu ruhiger Ausarbeitung; ich freilich auch kaum.“ Aber unmittelbar darauf fügte er hinzu: „Ich habe ihm neulich Unrecht gethan, als ich ihn ganz versunken in industrielle Unternehmungen glaubte; er war voll von Speculationen über die Urbeschaffenheit der Körper, denen zum Theil schwer zu folgen war, und Du weisst, wie ihn keine Mahlzeit und keine andere Beschäftigung abhält damit vorzugehen.“

Seine Frau erwiderte ihm:

„Ich freue mich zu sehr, Dich beim geliebten Sir William zu wissen, wie werdet Ihr schwelgen in den Urbegriffen der Dinge. Wenn man nicht schliesslich bei Anfang und Ende alles Lebens vor dem grossen Fragezeichen stünde und sich mit diesem zufrieden geben müsste! darum bist Du so glücklich, weil die Dinge jenseits unserer Grenze Dich nicht quälen und es für Dich des Ewigen noch genug giebt ausserhalb unseres kleinen Menschendaseins.“

Von Glasgow aus begab er sich mit Thomson zu den akademischen Feierlichkeiten in Edinburgh, wo ihm die ehrenvolle Aufgabe zufiel, bei dem grossen Festessen den auf die fremden Gäste ausgebrachten Toast zu beantworten und auf einer Reception der Studenten unter stürmischem Jubel dieselben anzureden.

Nach Berlin zurückgekehrt, wo er wieder eine Reihe von Auszeichnungen und Ehrungen vorfand, machte er sich sogleich an die für die Akademie bestimmte Ausarbeitung seiner Untersuchungen und bereitet alles zur Drucklegung seiner grossen Arbeit im Crelle'schen Journal vor. Schon am 2. Juli 1884 kann er Kronecker melden:

„Verehrter Freund, können Sie mir noch etwa zwei Seiten am Schluss des Heftes aufbewahren, in welches meine monocyklischen Systeme kommen? Ich habe jetzt den Beweis gefunden dafür, dass die lebendige Kraft immer integrirender Nenner der monocyklischen Systeme sein muss, der nur am Schlusse des §. 5 meiner Abhandlung noch fehlte. Ich hoffe Ihnen bis morgen Nachmittag das Manuskript liefern zu können. Die Zeit, wenn der letzte Correcturbogen zur Post gegangen ist, scheint besonders gefährlich zu sein für die Einsicht, wie leicht man es hätte besser machen können.“

Am 10. November 1884 verheirathete sich seine Tochter Ellen mit Arnold Wilhelm von Siemens, dem am 13. November 1853 geborenen ältesten Sohne von Werner von Siemens. Nach fast vierzig Jahren enger Freundschaft bereitete dieses Band dem Leben beider Männer eine grosse Herzensfreude.

Die Arbeiten von Helmholtz „Studien zur Statik monocyklischer Systeme“, welche in den Sitzungsberichten der Berliner Akademie vom 6. März, 27. März und 10. Juli 1884 niedergelegt sind, „Verallgemeinerung der Sätze über die Statik monocyklischer Systeme“ in den Berliner Sitzungsberichten vom 18. December 1884, sowie die „Principien

der Statik monocyklischer Systeme“ im Crelle'schen Journal vom Jahre 1884 stehen im engsten Zusammenhange mit der Arbeit „Ueber die physikalische Bedeutung des Princips der kleinsten Wirkung“ in demselben Journal vom Jahre 1886. Diese letzten Arbeiten finden wiederum eine wesentliche Ergänzung durch die in den Berliner Sitzungsberichten vom 10. März 1887 veröffentlichte Note „Zur Geschichte des Princips der kleinsten Action“, noch eingehender durch die von Helmholtz in der öffentlichen Sitzung der Akademie am 27. Januar 1887 gehaltene Rede, deren vollständige Drucklegung er unterliess, weil — was erst nachher zu seiner Kenntniss kam — Adolph Mayer in Leipzig eine ausführliche und gründliche Erörterung der Geschichte des Princips der kleinsten Wirkung in seiner akademischen Antrittsrede bereits veröffentlicht hatte. Die von Helmholtz gehaltene, durch Form und Inhalt gleich ausgezeichnete Rede wurde nach seinem Tode mit Zustimmung seiner Frau in die Geschichte der Akademie — und zwar in den zweiten Band (Urkunden und Actenstücke) — aufgenommen, welche zur zweihundertjährigen Jubelfeier derselben im Jahre 1900 herausgegeben wurde.

Die in diesen Arbeiten niedergelegten fundamentalen Untersuchungen, welche für Hertz Anregung und Ausgangspunkt für dessen „Principien der Mechanik“ bildeten, und welche in ihrer ungeheuren Tragweite wegen der Schwierigkeit der Probleme an sich sowie wegen der Gedrängtheit der Darstellung bis heute noch nicht in weite Kreise der Naturforscher einzudringen vermochten, sind durchaus mathematischer Natur; doch sind alle rein mathematischen Probleme bei der Verallgemeinerung der mechanischen Principien, wie es Helmholtz stets in seinen mathematisch-physikalischen Arbeiten liebte, immer nur soweit behandelt, als die Anwendung auf physikalische Fragen es erforderte und zweckmässig erscheinen liess. Eine Skizzirung all' dieser Arbeiten kann, da sie an dieser Stelle der mathematischen

Sprache entbehren muss, nur in allgemeinen Zügen gegeben werden.

„Ein Gesetz, welches sämmtliche Veränderungen in der Natur unter sich zusammenfassen soll, wird nothwendig mit Begriffen der abstractesten Art rechnen müssen, aus deren Fassung alles herausgefallen ist, was sich auf die besonderen Eigenschaften der uns bekannten Naturkörper bezieht, ja meistens muss man in einem solchen Falle neue abstracte Begriffe zu dem besonderen Zwecke erst bilden, unter die dann derjenige, der sie zum ersten Male definiren hört, keine Anschauungen und Erfahrungen unterbringen, d. h. wobei er sich nach volksthümlicher Redeweise nichts denken kann.“

Leibniz hatte als Arbeitsäquivalent alles in der Natur definirt, was als Triebkraft wirksam werden, oder, um gleich ein Maass zu gewinnen, ein Gewicht heben kann, und als Maass der Arbeit das Product aus der Schwere des Gewichts und der Höhe, zu der es gehoben wurde, definirt. Wir nennen dies die potentielle Energie des Gewichtes, weil es beim Fallen diese Arbeit zu leisten im Stande ist; ebenso wird, wie schon früher erläutert worden, für alle anderen Kräfte und beliebige Wege des angegriffenen Körpers die potentielle Energie berechnet, indem nur die Kraft durch ihre Projection nach der Richtung des Weges zu ersetzen ist. Leibniz hatte aber auch schon die zweite Hauptform der Arbeitsäquivalente wägbarer Körper kennen gelehrt, nämdie lebendige Kraft der bewegten Massen oder die actuelle Energie, und findet ihren Werth gleich der Hälfte des Productes aus der Masse und dem Quadrat der Geschwindigkeit; das Gesetz von der Erhaltung der lebendigen Kraft sagte aus, dass in einem beliebig zusammengesetzten Aggregat von Naturkörpern, auf welche nur solche Kräfte wirken, die von festen Centren ausgehen, die Summe der actuellen oder kinetischen und potentiellen Energie constant ist. Erst als man anfing, die Arbeitsäquivalente zu unter-

suchen, welche gewonnen oder verwendet werden müssen, um Imponderabilien in Thätigkeit zu setzen, waren Robert Mayer und Helmholtz zur Ueberzeugung von der Allgemeingültigkeit des Gesetzes der Energie für alle Naturvorgänge der leblosen wie der lebenden Welt, also zum Gesetze von der Erhaltung der Kraft gelangt. Nun ist es aber die Aufgabe der Physik, die Erscheinungen der Natur auf die einfachsten Gesetze der Mechanik zurückzuführen, und es entstand demnach zunächst die wichtige Frage, wie baut sich die Mechanik selbst in der einfachsten Weise auf, und welches sind, wie Hertz es ausdrückt, die letzten und einfachsten Gesetze derselben, denen jede natürliche Bewegung gehorcht, die keine Bewegung zulassen, deren Vorkommen in der Natur schon nach dem Standpunkt unserer heutigen Erfahrung ausgeschlossen ist, und aus denen sich, als den eigentlichen Principien der Mechanik, ohne weitere Berufung auf die Erfahrung die gesammte Mechanik rein deductiv entwickeln lässt.

Die Auffindung des Princips von der Erhaltung der Energie ermöglichte nun einen einheitlichen Aufbau der theoretischen Mechanik. Der Begriff der Kraft rückte in den Hintergrund, Masse und Energie traten als gegebene unzerstörbare physikalische Grössen auf. Die vorhandene Energie ergab sich aus zwei Theilen zusammengesetzt, von denen der eine, die kinetische Energie, durch eine in allen Fällen gleiche Abhängigkeit von den Geschwindigkeiten der bewegten Massen gegeben, der andere, die potentielle Energie, durch die gegenseitige Lage der Massen bestimmt, aber in jedem Falle erst aus deren besonderer Natur zu ermitteln ist. Die Discussion der verschiedenen Formen der Energie sowie der Bedingung der Ueberführung von einer Form in die andere bildet nach Hertz den Inhalt der gesammten Physik und Chemie.

Aus dem Gesetz von der Constanz der Summe der actuellen und potentiellen Energie hatte sich unmittelbar

die wichtige Folgerung ergeben, dass, wenn ein System von Körpern sich in einer solchen Lage ruhend befindet, von der aus jede mit den Zwangsbedingungen des Systems verträgliche Bewegung in eine Lage mit höherer potentieller Energie führt, keine lebendige Kraft, also keine Bewegung der Körper entstehen kann; es muss somit in einer solchen Lage, in der die potentielle Energie ein Minimum ist, stabiles Gleichgewicht stattfinden. Das Gesetz von der Constanz der Energie sagt uns aber für den Fall der Bewegung nichts darüber aus, durch welche Reihe von Lagen nach einander das System hindurchgehen werde, um von einer gegebenen Anfangslage in eine gegebene Endlage zu kommen; gerade darüber giebt das Princip der kleinsten Action Aufschluss.

Leibniz hatte sich schon die Frage nach der Leistung des Beharrungsvermögens vorgelegt, welche den mit Masse gefüllten Raum von den geometrischen Körpern unterscheidet; er fand, dass diese Leistung um so grösser, je grösser die fortbewegte Masse, je länger die Wegstrecke, durch welche sie fortbewegt ist, und je grösser die Geschwindigkeit, mit der sie sich fortbewegt. Es ergab sich somit als Maass der Action das Product aus Masse, Weglänge und Geschwindigkeit, oder, was dasselbe ist, aus lebendiger Kraft und Zeit. Man erhält nun eine Regel, durch welche alle möglichen Bewegungen beliebiger Mengen träger Körper unter der Einwirkung conservativer Bewegungskräfte, die sie theils gegenseitig ausüben, theils von festen Centren aus auf sie ausgeübt werden, vollständig umfasst und dargestellt werden in dem Princip der kleinsten Wirkung. Dasselbe sagt aus, dass, wenn ein solches Körpersystem aus einer gegebenen Anfangslage in eine gegebene Endlage mit vorgeschriebenem Werthe der Energie übergeht, für die freie ungestörte Bewegung desselben die Action ein Grenzwerth, und zwar für kurze Abschnitte der Bewegung ein Minimum ist. Es führt hiernach die Trägheit bei gegebenem Werthe der Energie die bewegten Massen immer auf solchem Wege zum Ziele, wo der

Trägheit, wenigstens für kurze Wegstrecken, das kleinste Maass der Leistung zufällt. Um den mathematischen Begriff des Grenzwerthes zu definiren, sagt Helmholtz:

„Für einen Wanderer, der ein Gebirge übersteigen will, ist die Passhöhe eines Gebirgskammes allerdings das Maximum der Höhe, bis zu dem er steigen muss, aber auf jeder anderen Uebergangsstelle würde er noch höher zu steigen haben. Man bezeichnet dies mathematisch als ein Maximo-Minimum der Höhe und fasst solche Werthe und die vollständigen Minima und Maxima der veränderlichen Grössen zusammen unter dem Namen der Grenzwerthe derselben."

So lange man nun dieses Princip nur auf die deutlich erkennbaren Bewegungen wägbarer Körper anwandte, schien es keinen anderen realen Inhalt zu haben, als den, welcher in Newton's Bewegungsgleichungen niedergelegt war, aber es zeigte sich sehr bald von viel grösserer Bedeutung, als man auf die Untersuchung von Körpern geführt wurde, in deren Innern dauernde verborgene Bewegungen vor sich gehen. Helmholtz sieht bei der Formulirung des Princips der kleinsten Action für den Ablauf aller Naturprocesse ein fundamentales theoretisches Interesse darin, dass aus demselben die Kraftcomponenten, mit denen die Mechanik ursprünglich rechnete, ganz verschwunden sind, und

> „nur noch die Rede ist von den beiden Hauptformen der Energie, deren Gesammtwerth unveränderlich und ewig ist, die aber in den mannigfaltigsten Erscheinungsformen in den Naturkörpern hin und her wallt. Den Verlauf dieses Hin- und Herwallens der Energie bringt dieses Princip unter eine kurze, aber alles umfassende Regel, und damit macht es alles Geschehen in der Welt ganz allein und vollständig abhängig von der zeitigen Vertheilung der Energie".

Als erstes hervorragendes Beispiel für die Anwendung des Princips der kleinsten Action auf die Untersuchung von Körpern, in deren Innern verborgene Bewegungen vor sich

gehen, führt Helmholtz die „anfangs ganz wunderlich und unverständlich erscheinenden Gesetze der mechanischen Wärmetheorie“ von Sadi Carnot, Clausius und Boltzmann an; er hebt hervor, dass F. E. Neumann die Gesetze der elektromagnetischen Wirkungen geschlossener galvanischer Ströme in dieselbe Ausdrucksform brachte, welche aus dem Princip der kleinsten Wirkung fliesst, und bemerkt, dass alle Hypothesen von W. Weber, Cl. Maxwell, Riemann, C. Neumann und Clausius, die Wechselwirkungen vieler elektrischer Massen in Elementarwirkungen aufzulösen, wieder auf Rechnungsformen geführt haben, welche dem Princip der kleinsten Action entsprechen, wobei aber das, was der lebendigen Kraft und dem Beharrungsvermögen der Elektricität entspricht, in anderer Form als für die wägbaren Körper sich ausdrückt. Begrenzt scheint Helmholtz die Gültigkeit des Princips bei den sogenannten irreversibeln Processen der Wärmeleitung, Wärmeerzeugung durch Reibung, elektrischen Widerstand u. s. w. nur deshalb, weil wir den unregelmässigen Bewegungen der einzelnen Atome weder zu folgen noch dieselben praktisch alle wieder in übereinstimmende Richtung zu lenken vermögen. Er hat in seinen nachher zu besprechenden Arbeiten über die monocyklischen Systeme zu zeigen versucht, dass sehr mannigfache Classen innerer Bewegung dem Gesetze der kleinsten Wirkung folgen müssen.

Die Hypothese, welche Helmholtz hier aufgestellt und nachher immer klarer und durchsichtiger hervortreten lässt, dass alle Erscheinungen in einheitlicher Weise zu Stande kommen durch Wirkung verborgener Massen, durch verborgene Bewegung und starre Verbindungen, kleidet später Hertz, ganz im Anschluss an diesen grundlegenden Gedanken von Helmholtz, welcher den wesentlichen Fortschritt in der neueren Mechanik bezeichnet, in die correcte Form der freilich noch etwas weitergehenden Annahme:

„dass die Mannigfaltigkeit der wirklichen Welt grösser

ist als die Mannigfaltigkeit der Welt, welche sich unseren Sinnen offenbart; wir geben zu, dass ein verborgenes Etwas mitwirke, aber wir leugnen, dass dies Wesen besonderer Art, wie die Begriffe der Kraft und Energie, sind; das Verborgene soll wiederum Bewegung und Masse sein, welche sich von der sichtbaren nicht an sich, sondern nur in Beziehung auf uns und unsere gewöhnlichen Mittel der Wahrnehmung unterscheiden — Kraft und Energie ist dann nur eine Wirkung von Masse und Bewegung, aber nicht immer grobsinnlich wahrnehmbar."

Helmholtz giebt in seiner Akademierede in fesselnder Weise eine Geschichte des Princips der kleinsten Wirkung und geht vor Allem auf die Arbeiten von Maupertuis über dasselbe ein, der „in hervorragender Weise das war, was wir einen geistreichen Mann zu nennen pflegen, mit allen Vorzügen und Fehlern eines solchen". Er zeigt das Unbestimmte und Unklare in der Ansicht von Maupertuis, welcher durch jenes Princip die Forderung der Metaphysik befriedigt sieht, nach der die Natur in der Hervorbringung ihrer Wirkungen immer die einfachsten Mittel brauche, und welcher meint, ermitteln zu müssen, welche Grössen bei den Naturvorgängen ein Minimum würden; das seien die, welche die Natur zu ersparen strebe, und dadurch könne man die Absichten ermitteln, welche die Natur verfolge. Maupertuis geht sogar so weit, zu verkünden, dass das von ihm entdeckte Princip von der kleinsten Action den ersten bindenden und unwiderleglichen Beweis für das Dasein Gottes als eines intelligenten Weltlenkers gebe. Mit Bezug auf diese metaphysischen Betrachtungen Maupertuis' macht Helmholtz im Hinweis auf die von ihm hervorgehobene Auseinanderhaltung des Grenzwerthes und des Minimums in einer seiner Aufzeichnungen die scherzhafte Bemerkung: „Wenn man, wie in dieser Formulirung, die Trägheit gleichsam personificirt, so ziemt es sich auch, dass sie kurzsichtig sei und nur für die nächste kurze Zeit sorgt."

Den Ruhm der ersten, wenn auch ganz unbestimmten Formulirung des Princips spricht Helmholtz zwar Maupertuis zu, aber er wirft ihm mit Recht Unklarheit und Mangel an strenger Deduction vor.

„Die alte sokratische Forderung an jeden Philosophen, d. h. Mann der Wissenschaft, dass er sich klar machen müsse, was er weiss, hat er in gröblichster Weise missachtet. Er musste wissen, dass er das Princip, welches er als unumstösslich richtig vortrug, weder als wahr zu erweisen, noch auch nur klar auf Beispiele mannigfacher Art anzuwenden im Stande war. In Selbstbewunderung versunken hielt er sich für berechtigt, es nur wie ein Prophet zu verkünden, ein tragisches Beispiel, wie ein ursprünglich begabter Geist, durch Eitelkeit und die lockere Disciplin des sogenannten metaphysischen Denkens verführt, sich zu Grenzen hin verirren kann, wo sogar die Zurechnungsfähigkeit zweifelhaft zu werden beginnt. Wenn er aber auch die Wahrheit nur gerathen hat, so ist es doch immer die Wahrheit, die er gerathen hat. Und sein felsenfester Glaube an die Möglichkeit, ein allgemeines Gesetz der Natur zu finden, hat seinen letzten Grund doch in dem richtigen Vertrauen auf die Gesetzmässigkeit der Natur, d. h. auf das Causalgesetz, welches der letzte Grund all' unseres Denkens und Handelns ist.“

In seiner Arbeit „Zur Geschichte des Princips der kleinsten Action“ geht nun Helmholtz auf eine Kritik der für dasselbe von Lagrange, Jacobi und Hamilton gegebenen Beweise ein. Er zeigt, dass, wenn bei der Vergleichung der benachbarten Wege mit dem wirklich von dem System befolgten für die anderen Wege nicht nur die Constanz der Energie, sondern auch derselbe Werth der Energieconstanten vorausgesetzt wird, zwar für die Gültigkeit des Princips die gleiche Anfangslage und Endlage für die verglichenen Bewegungen des Systems, aber nicht dieselbe Durchgangszeit verlangt werden kann; es muss somit

auch die Zeit als variirbar bei der analytischen Herleitung des Princips angenommen werden. Die Jacobi'sche Beweisform ist für ein vollständig bekanntes, in sich abgeschlossenes Körpersystem physikalisch stets als gültig anzusehen. Die Hamilton'sche Form des Princips, die nachher Erwähnung finden wird, gestattet dagegen, die Bewegungsgleichungen auch für unvollständig abgeschlossene Systeme durchzuführen, auf welche veränderliche äussere Einflüsse wirken, die von einer Rückwirkung des bewegten Systems unabhängig angesehen werden können, wie z. B. in dem Falle der von festen Centren ausgehenden Kräfte.

„Jedenfalls scheint mir die Allgemeinheit des Princips der kleinsten Wirkung so weit gesichert, dass es als heuristisches Princip und als Leitfaden für das Bestreben, die Gesetze neuer Classen von Erscheinungen zu formuliren, einen hohen Werth in Anspruch nehmen darf.“

Helmholtz legt nun zum Zwecke tiefer eindringender Untersuchungen das Princip der kleinsten Wirkung in der von Hamilton aufgestellten Form zu Grunde, wonach der für gleiche Zeitelemente berechnete negative Mittelwerth der Differenz der potentiellen und actuellen Energie — des kinetischen Potentials — auf dem wirklichen Wege des Systems ein Minimum, für längere Strecken ein Grenzwerth ist im Vergleich mit allen benachbarten Wegen, die in gleicher Zeit aus der Anfangslage in die Endlage führen. Er entwickelt, ohne actuelle und potentielle Energie zu trennen, den analytischen Ausdruck für dieses Princip mit möglichster Freiheit für die Natur des kinetischen Potentials und leitet daraus die Form der Lagrange'schen Bewegungsgleichungen her, indem er zeigt, dass auch schon in der Mechanik wägbarer Massen unter specieller Annahme und bei Elimination einzelner Parameter des Problems solche allgemeinere Formen eintreten können, welche die beiden Energien nicht gesondert enthalten. Auch unter dieser sehr allgemeinen Annahme leitet er den

Satz von der Constanz der Energie ab, und findet, dass nicht umgekehrt in jedem Falle, wo die Constanz der Energie gewahrt ist, auch das Princip der kleinsten Wirkung gelte. „Das letztere sagt mehr aus, als das erstere, und zu finden, was er mehr aussagt, ist unsere Aufgabe.“ Unter der Annahme der Gültigkeit des Princips der kleinsten Wirkung zeigt er, wie man aus der vollständigen Kenntniss der Abhängigkeit der Energie von den Coordinaten und den Geschwindigkeiten Werthe für das kinetische Potential und somit alle Bewegungsgesetze des Systems finden kann. In der Mechanik wägbarer Körper ist das kinetische Potential eine homogene Function zweiten Grades der Geschwindigkeiten, doch können unter gewissen Voraussetzungen durch Elimination der Coordinaten sich die Lagrange'schen Bewegungsgleichungen für die übrig bleibenden Coordinaten in genau derselben Form jedoch für ein kinetisches Potential darstellen, worin die Geschwindigkeiten auch linear vorkommen. Dieser in der Mechanik wägbarer Körper gegebenen Analogie gemäss bezeichnet Helmholtz auch andere Fälle physikalischer Vorgänge, in denen das kinetische Potential Glieder enthält, die in den Geschwindigkeiten linear sind, als Fälle mit verborgener Bewegung; die Fälle unterscheiden sich von denen, wo das kinetische Potential die Geschwindigkeiten nur in Gliedern zweiten Grades enthält, wesentlich dadurch, dass die Bewegung nicht unter gleichen Umständen rückläufig vor sich gehen kann, wenn nicht die verborgenen Bewegungen gleichzeitig umgekehrt werden.

Er behandelt sodann unter den gemachten allgemeinen Voraussetzungen die Wechselbeziehungen zwischen den Kräften, die das System gleichzeitig nach verschiedenen Richtungen hin ausübt, und seinen Beschleunigungen und Geschwindigkeiten, welche eine Reihe der interessantesten Verknüpfungen physikalischer Erscheinungen umfassen, wie z. B. den Satz der Thermodynamik: wenn Steigerung

der Temperatur den Druck eines Körpersystems steigert, wird Compression desselben die Temperatur steigern; ferner, wenn Erwärmung einer Stelle einer geschlossenen Leitung einen elektrischen Strom hervorbringt, wird derselbe Strom dort Kälte entwickeln, wenn von der Erwärmung durch den Leitungswiderstand abgesehen wird, und andere mehr. Nachdem er aus den erweiterten Lagrange'schen Gleichungen die nothwendigen Bedingungen für das erweiterte kinetische Potential abgeleitet, spricht er den Satz aus, dass diese Bedingungen auch die für die Existenz des kinetischen Potentials hinreichenden sind, behält sich aber den Beweis dieses Satzes für eine andere Gelegenheit vor; wir finden in seinem Nachlass Näheres über die hierfür gewählte Beweismethode, doch kam er in Betreff dieses Punktes zu keinem ihn befriedigenden Resultate. Am 25. April 1886 schreibt er von Baden-Baden aus an Kronecker:

„Ihre Karte aus Berlin mit der für mein Manuscript angegebenen Adresse habe ich erhalten und nun auch hier Ihren Brief vom 21. d. M. aus Florenz. In der That ist mein Manuscript zwar grösstentheils schon mit Seitenzahlen versehen, aber ich bin noch hängen geblieben an einem Punkte, für welchen ich noch einen Aufsatz von Lipschitz nachsehen musste, den ich von Koenigsberger hierher gesandt erhalten habe. Ich bitte Sie aber, warten Sie nicht mit dem Fortgang des Druckes auf mich; das beängstigt mich. Ich kann auch ebenso gut im 3. oder 4. Heft erscheinen. Ich bin durch den Versuch, meine Sätze umzukehren, in die Theorie der Potentialfunctionen von vielen Dimensionen hineingerathen, wo man sehr vorsichtig vorwärts gehen muss, und weiss noch nicht, ob ich die betreffenden Erörterungen als Excurs in den Hauptaufsatz nehme oder absondere. Aber auch im zweiten Falle muss ich den Excurs erst fertig ausgearbeitet haben. . . . Der Anfang von Boltzmann's Aufsatz enthält sehr inter-

essante Betrachtungen, denen ich auch einmal eine Weile früher nachgegangen bin, ohne zu einem rechten Ende zu kommen; übrigens bin ich beruhigt, da ich sehe, dass Boltzmann auch nicht viel weiter gekommen ist."

Hamilton hatte die Lagrange'schen Bewegungsgleichungen durch ein System totaler Differentialgleichungen erster Ordnung ersetzt, welche die nach der Zeit genommenen totalen Differentialquotienten der freien Coordinaten und einer gleichen Anzahl aus der lebendigen Kraft abgeleiteten Grössen — Bewegungsmomente — als partielle Differentialquotienten des Energievorraths nach diesen Grössen liefern; Helmholtz verallgemeinert für eine beliebige Form des kinetischen Potentials die Form der entsprechenden Hamilton'schen Differentialgleichungen. Und nun macht er von der aufgestellten Theorie Anwendungen auf die Reciprocitätsgesetze für die durch kleine Anstösse nach Ablauf einer bestimmten Zeit erfolgenden Aenderungen der rechtläufigen und rückläufigen Bewegung. Umkehrbar nennt er die Bewegung des Systems, wenn die Reihe der Lagen, die es bei rechtläufiger Bewegung durchgemacht hat, auch rückwärts durchlaufen werden kann ohne Eingriff anderer Kräfte und mit denselben Zwischenzeiten für jedes Paar gleicher Lagen. So gelangt er zu Reciprocitätsgesetzen, von welchen die längst von ihm für Schall und Licht, aber nur für ruhende Systeme, nachgewiesenen nur specielle Fälle sind. Wie man früher schon die Kräfte der Wärme auf die verborgenen Bewegungen greifbarer Massen zurückgeführt hatte, und wie Maxwell in den elektrodynamischen Kräften die Wirkung der Bewegung verborgener Massen erkannte, so wollte Helmholtz nun allgemein Bewegung und Energie solch verborgener Massen in die Behandlung physikalischer Probleme einführen, da er in dem hinter den Dingen liegenden Unsichtbaren nichts anderes als Bewegung und Masse sah, welche nur für unsere Sinne nicht nachweisbar sind. Und so wählte er zur Darstellung der gesammten Bewegung

das Princip der kleinsten Wirkung, welches zulässt, dass auf das mechanische System, dessen innere Kräfte als von der Zeit unabhängige Differentialquotienten von Kräftefunctionen der sichtbaren Coordinaten des Systems darstellbar sind, noch äussere von der Zeit abhängige Kräfte wirken, deren Arbeit besonders berechnet wird, welche also nicht zu den conservativen Bewegungskräften gehören, sondern durch andere physikalische Processe bedingt sind.

Die wesentliche Veranlassung zu diesen allgemeinen Betrachtungen war für Helmholtz die Untersuchung der Form des kinetischen Potentials gewesen, welches Maxwell's Theorie der Elektrodynamik fordert; in diesem treten die Geschwindigkeiten der Elektricität in einer Function zweiten Grades auf, deren Coefficienten aber nicht Constanten werden, wie es die Massen in dem Werthe der lebendigen Kraft ponderabler Systeme sind, und es treten ausserdem lineare Functionen der Geschwindigkeiten hinzu, sobald permanente Magnete in Wirkung kommen. Da nun auch die Erscheinungen des Lichts sich im Wesentlichen durch die Hypothese erklären lassen, dass der Aether ein Medium von ähnlichen Eigenschaften ist wie die festelastischen wägbaren Körper, und somit das Princip der kleinsten Wirkung für die Lichtbewegung jedenfalls als gültig angesehen werden muss, so betrachtete Helmholtz schon damals den Gültigkeitsbereich des Princips der kleinsten Wirkung weit über die Grenze der Mechanik wägbarer Körper hinausgehend, und hielt es für höchst wahrscheinlich, dass es das allgemeine Gesetz aller reversibeln Naturprocesse sei.

Es darf an dieser Stelle nicht unerwähnt bleiben, dass Boltzmann bereits im Jahre 1866 in einer damals ziemlich unbemerkt gebliebenen, selbst nicht zur Kenntniss von Clausius gekommenen Arbeit „Ueber die mechanische Bedeutung des zweiten Hauptsatzes der Wärmetheorie“ einen Satz für die Mechanik wägbarer Massen entwickelt hat, welcher dem zweiten Hauptsatz der Wärmelehre ebenso analog

ist, wie das Princip der lebendigen Kraft dem ersten, und dass, wie Boltzmann mir im Jahre 1896 schrieb, er schon 1867 seinem Collegen Loschmidt von Stefan mit den Worten vorgestellt wurde: „Herr Boltzmann, der Entdecker der physikalischen Bedeutung des Princips der kleinsten Wirkung.“ Welche Ausdehnung und Macht Helmholtz diesem Princip für alle Theile der Physik beilegte und durch streng mathematische Deductionen auch wirklich verschaffte, lassen seine früheren, sowie die noch weiter folgenden Arbeiten immer deutlicher hervortreten; ähnliches bezweckten die ziemlich gleichzeitig von J. J. Thomson angestellten Untersuchungen.

Helmholtz war auf die besprochenen allgemeinen Untersuchungen, welche die Erweiterung der mechanischen Principien im Auge hatten, durch specielle Fälle geführt worden, welche ihn kurz zuvor schon zu einer, wenn auch nicht so ausgedehnten Verallgemeinerung gelangen liessen, und diese Untersuchungen waren in den oben bezeichneten Arbeiten über die Principien der Statik monocyklischer Systeme im Jahre 1884 niedergelegt worden. Er versteht unter monocyklischen Systemen solche mechanische Systeme, in deren Innerem eine oder mehrere stationäre, in sich zurücklaufende Bewegungen vorkommen, die aber, wenn es mehrere sind, in ihrer Geschwindigkeit nur von einem Parameter abhängen, während die Systeme für den Fall mehrerer unabhängiger Parameter polycyklische genannt werden. Dabei soll eine stationäre Bewegung eine solche sein — wie er ausdrücklich einer Kritik von Clausius gegenüber hervorhebt, der die Fehlerhaftigkeit der Helmholtzschen Resultate mit Unrecht nachzuweisen sucht —, bei welcher an demselben Orte dauernd dieselbe Geschwindigkeit gleichartiger bewegter Theile sich findet, wie bei der Bewegung eines rotirenden Kreisels oder bei dem Strome reibungsloser Flüssigkeit in einem ringförmigen Canal. Weiter wird vorausgesetzt, dass die zwischen den Körpern

des Systems wirkenden Kräfte conservative sind, und ferner sollen die zu behandelnden Aufgaben statische in dem Sinne sein, dass Aenderungen im Zustande des Systems zwar nicht ausgeschlossen sind, dass dieselben aber so langsam vor sich gehen, dass das System sich niemals merklich aus den Zuständen entfernt, in denen es dauernd beharren könnte — Annahmen, welche auch Clausius stillschweigend für die sämmtlichen Sätze, welche er über die reversibeln Umwandlungen der Wärme aufgestellt hat, zu Grunde legte. Helmholtz hebt hervor, dass die Wärmebewegung nicht in strengem Sinne monocyklisch ist, da jedes einzelne Atom wahrscheinlich fortdauernd in der Art seiner Bewegung wechselt; aber dadurch, dass in einer ungeheuer grossen Anzahl von Atomen stets alle möglichen Stadien der Bewegung repräsentirt sind, wenn auch jedes einzelne Stadium bald von diesem, bald von jenem Atom ausgeführt wird, tritt der mechanische Charakter einer monocyklischen Bewegung hervor.

Er bezeichnet es nun als das Ziel seiner Untersuchung, nachzuweisen, dass eine Classe von mechanisch vollkommen verständlichen Bewegungen besteht, bei der ähnliche Beschränkungen der Umwandlung von Arbeitsäquivalenten vorkommen, wie sie der zweite Hauptsatz für die Wärmebewegung ausspricht. Doch verwahrt sich Helmholtz gegen den Vorwurf von Clausius, als ob er den Anspruch erhoben hätte, eine Erklärung des zweiten Hauptsatzes der mechanischen Wärmetheorie gegeben zu haben; es handelt sich für ihn bei der Wahl der Beispiele monocyklischer Bewegungen nur um deren vollständige mechanische Verständlichkeit.

„Auf eine Kritik wissenschaftlicher Sätze und Principien zu erwidern“, sagt er später bei anderer Gelegenheit, „habe ich der Regel nach nur dann für nöthig gehalten, wenn neue Thatsachen beizubringen oder Missverständnisse aufzuklären waren, in der Erwartung, dass, wenn alle Data

gegeben sind, die wissenschaftlichen Fachgenossen schliesslich sich ihr Urtheil zu bilden wissen auch ohne die weitläufigen Auseinandersetzungen und sophistischen Künste der streitenden Gegner.“

Helmholtz entwickelt zunächst die allgemeinen Bewegungsgleichungen der Mechanik für polycyklische Systeme; unter den gemachten Voraussetzungen und unter der Annahme, dass eine oder mehrere der äusseren Kräfte, welche auf das System wirken, dauernd gleich Null sind, gelingt es ihm, wie wir schon oben hervorgehoben haben, durch Elimination einzelner Coordinaten für die übrig bleibenden wieder Gleichungen genau von der Lagrange'schen Form zu finden, und er nennt im Gegensatz zu dem ursprünglichen vollständigen System das nach Elimination jener Coordinaten resultirende das unvollständige System. Diese Untersuchungen werden nun für den allgemeinen Fall der monocyklischen Bewegung specialisirt, bei welcher mehrere Geschwindigkeiten vorhanden sind, die aber alle nur von einer derselben abhängen. Helmholtz denkt sich nun feste Verbindungen von einer derartigen Wirkung angenommen, dass sie diejenigen Bewegungen, welche von selbst unter dem Spiel der einwirkenden Kräfte entsprechend den Gleichungen der Verbindung verlaufen würden, gar nicht beeinflusst, dass sie aber beginnenden Abweichungen allemal solche Kräfte entgegenstellt, als nöthig sind, die Abweichung zu verhindern; die von der festen Verbindung ausgehenden Kräfte fügen somit keinen Arbeitsbetrag zu dem der von aussen einwirkenden Kräfte hinzu. Helmholtz nennt das System nach Einführung dieser festen Verbindungen das gefesselte System. Aus der Beziehung, dass die auf Beschleunigung der Bewegung des gefesselten Systems verwendete Arbeit gleich der Summe der im ungefesselten bei den gleichen Geschwindigkeitsänderungen verwendeten Arbeit ist, werden zwei Gleichungen hergeleitet, die analog sind den beiden Carnot-Clausius'schen Be-

ziehungen in der Wärmetheorie. Die erste derselben sagt aus, dass die während einer verschwindend kleinen Aenderung der absoluten Temperatur und der Parameter in das System eingetretene, durch ihr Arbeitsäquivalent gemessene Wärme gleich ist der Zunahme der gesammten Energie und der frei verwandelbaren, nicht in Wärme übergeführten Arbeit, welche das System bei Aenderung der Parameter nach aussen hin abgiebt, — vorausgesetzt, dass Aenderung der Temperatur ohne Aenderung der Parameter die Einnahme oder Ausgabe keiner anderen Arbeitsform als eines Quantums Wärme bedingt; die zweite Beziehung findet dieselbe Grösse gleich dem Producte der Temperatur mit der Zunahme einer Grösse, welche Clausius die Entropie genannt hat, während Helmholtz den Factor, der hier die Temperatur oder eine Function derselben ist, den integrirenden Nenner nennt.

Genau dieselben Beziehungen gelten nun für die monocyklischen Systeme, und daher auch alle Folgerungen über die beschränkte Verwandlungsfähigkeit. Da nun in der Wärmetheorie die Temperatur, welche den integrirenden Nenner bildet, nach der kinetischen Gastheorie der lebendigen Kraft der inneren Bewegung proportional ist, und Helmholtz die von Clausius und Boltzmann aufgestellte Hypothese für sehr wahrscheinlich hält, dass dies auch in allen anderen Körpern der Fall ist, so legt er sich die Frage nach den Bedingungen vor, unter welchen für monocyklische Systeme mit festen Verbindungen der bewegten Theile, so wie es für einfache monocyklische Systeme der Fall ist, die lebendige Kraft integrirender Nenner ist. Er findet als Bedingung, dass die Entropie des gefesselten Systems eine homogene Function ersten Grades der Bewegungsmomente des ungefesselten Systems sei, woraus sich ergiebt, dass, wenn das vollständige System der Parameter constant erhalten wird, die sämmtlichen Bewegungsmomente und Geschwindigkeiten des gefesselten Systems proportional

dem resultirenden Bewegungsmomente und der resultirenden Geschwindigkeit der inneren Bewegung wachsen müssen. Es zeigt sich, dass für alle bisher bekannten Fälle mechanischer Koppelung je zweier cyklischer Bewegungen die Bedingungen erfüllt sind, unter denen in dem zusammengesetzten monocyklischen Systeme die lebendige Kraft ein integrirender Nenner ist. Es gelingt ihm weiter, die besondere Art dieser festen Verbindungen zwischen den bewegten Theilen des Systems näher zu charakterisiren. Wenn man zwei ursprünglich von einander unabhängige monocyklische Systeme durch passende Regulirung der äusseren Kräfte in einen Zustand versetzt, der dieser bestimmten Art fester Verbindung entspricht, so kann man eine solche feste Verbindung zwischen ihnen eintreten lassen, ohne dadurch die vorhandene Bewegung zu stören, und kann sie von da ab bei eintretenden neuen Veränderungen der Kräfte unter Einhaltung dieser festen Verbindung sich weiter bewegen lassen — wieder der Wärmebewegung analog, bei welcher zwei Körper gleicher Temperatur ohne Veränderung ihrer inneren Bewegung in leitende Berührung gesetzt werden können, so dass sie bei neuen hinreichend langsamen Veränderungen gleiche Temperatur behalten. Diesen Zustand zeitweiliger fester Verbindung bezeichnet Helmholtz als Koppelung der Systeme. Als von besonderem Interesse hebt er den Fall hervor, wo zwischen zwei Systemen, welche gleiche Werthe eines ihrer integrirenden Nenner haben, eine mechanische Verbindung so hergestellt wird, dass, während diese Verbindung besteht, die Gleichheit dieser Nenner erhalten bleiben muss, wie es bei dem Contact zweier gleich temperirter Körper der Fall ist, wo die Temperatur integrirender Nenner der beiden Körper ist. Eine solche Art der Verbindung nennt Helmholtz eine isomore Koppelung. Es zeigt sich allgemein, dass, wenn monocyklische Systeme nur solche Verbindungen unter einander zulassen, für welche die oben genannten zwei Eigenthümlich-

keiten der Wärmebewegung gültig sind, dann auch die dritte durch das Carnot'sche Gesetz ausgesprochene wesentliche Eigenthümlichkeit der Wärme, die beschränkte Umwandlungsfähigkeit für sie gilt, und es werden jenen Bedingungen gemäss von Helmholtz die entsprechenden Charaktere der Koppelung entwickelt.

Schliesslich wird noch ein bisher nicht benutztes allgemeines Princip besprochen, welches den Charakter aller durch ponderable Naturkörper zwischen bewegten Körpern herstellbaren Verbindungen betrifft. Während man bei den älteren Untersuchungen mechanischer Probleme, wo feste Verbindungen angenommen wurden, darunter nur die Unveränderlichkeit bestimmter räumlicher Abmessungen verstand, handelt es sich hier um die Herstellung fester Verhältnisse zwischen Geschwindigkeiten. Indem er früher nur solche Verbindungen für die Gewinnung der Gleichungen des Problems verwendet hat, bei denen die Verbindungen gar keinen Einfluss haben, so lange die Bewegung schon an und für sich so vor sich geht, wie es diesen entspricht, und welche somit keine Arbeit erzeugen oder vernichten, wurde er bei der Behandlung der Frage nach den Fällen, in denen die lebendige Kraft integrirender Nenner des durch die Verbindungen entstehenden zusammengesetzten monocyklischen Systems wird, auf die Abgrenzung derjenigen Fälle geführt, die er als rein kinematische Verbindungen bezeichnet hat. Diese Unterscheidung führt er auf noch allgemeinere Betrachtungen zurück, und kommt unter anderem zu dem interessanten Satze, dass keine mit physischen Körpern herstellbare Art der Fesselung cyklischer Bewegungen vermeiden kann, jede beliebige proportionale Steigerung aller Geschwindigkeiten zuzulassen, wobei die Verhältnisse dieser Geschwindigkeiten zu einander unverändert bleiben, so lange alle Coordinaten ihren Werth constant halten. Die Aufgabe, die analytischen Ausdrücke solcher Verbindungen zu finden, die ein polycyklisches System monocyklisch machen, hatte Kronecker

ganz allgemein als Zusatz zur ersten Arbeit von Helmholtz rein analytisch behandelt; Helmholtz giebt nun hier die Integration der Fesselungsgleichungen für ein physisch vorhandenes System und vergleicht die Resultate mit den von Kronecker erhaltenen.

Die gleichzeitige Bearbeitung der neuen Auflage seiner physiologischen Optik gewährte ihm ein wenig Erholung von den überaus schwierigen, Körper und Geist aufs Aeusserste anspannenden Arbeiten; die erste Lieferung derselben erschien im Jahre 1885, die zweite und dritte im folgenden Jahre, die vierte 1887, die fünfte 1889, die sechste und siebente 1892, die achte 1894 und die Schlusslieferung erst 1895 nach seinem Tode. Er wurde im Laufe dieser Jahre wieder häufig zu weiteren Ausführungen und Verbesserungen der früher von ihm aufgestellten Theorien geführt und trat von Neuem mit einer grossen Anzahl von Gelehrten in eine rege Correspondenz über physiologisch-optische Probleme; so schreibt er am 2. März 1885 an Lord Rayleigh:

„Ich habe nie bezweifelt, dass unser Farbensystem von drei Variabeln und nicht mehr abhängt. . . . In Betreff der Farbenblindheit zeigen die neueren Beobachtungen von Donders und von meinem Assistenten Dr. A. Koenig, dass diese nicht einfach auf den Mangel einer der Grundfarben zurückgeführt werden kann, sondern dass zwei der Grundfarben (Roth und Grün) eine mehr gleichmässige Vertheilung im Spectrum zu gewinnen scheinen, wobei bald das eine, bald das andere den stärkeren Eindruck macht, oder die resultirende Curve sich bald mehr der des Roth, bald der der normalen Grünempfindung nähert. Ausserdem kommen alle Zwischengrade verminderten Unterscheidungsvermögens vor. In Folge dessen brauchen verschiedene Individuen sehr verschiedene Mengen Lithium- und Thalliumlicht, um Natriumlicht zusammenzusetzen. . . . Auf das elektrochemische Aequivalent des Silbers bin ich sehr gespannt, da ich mich auch während des letzten Winters bemüht habe, gute abso-

lute Messungsmethoden für galvanische Ströme auszubilden. . . . Ich muss sagen, dass ich das Halten von Collegien jetzt auch herzlich satt habe. Möglicher Weise bekommen wir jetzt hier in Folge einer Schenkung, die Dr. Werner Siemens gemacht hat, ein wissenschaftliches physikalisches Observatorium ohne Unterrichtszwecke, dessen Direction mir angeboten ist. Es entwickelt sich diese Sache nur zu langsam für das Alter von 63 Jahren, in dem ich stehe."

Das Ende des Jahres 1885 brachte dem Helmholtz'schen Hause nach langer und schwerer Sorge um die Gesundheit des Sohnes Robert die grosse Freude, dass derselbe am 23. December mit einer sehr günstig beurtheilten Dissertation „Untersuchungen über Dämpfe und Nebel besonders über solche von Lösungen" in Berlin sein Doctorexamen ablegte; schon im folgenden Jahre erschien seine Abhandlung „Die Aenderungen des Gefrierpunktes berechnet aus der Dampfspannung des Eises" und wenige Monate später in den Annalen der Physik und Chemie seine „Versuche mit einem Dampfstrahl", welche in der wissenschaftlichen Welt sehr beifällig aufgenommen wurden.

Noch im Jahre 1885 verfasste Helmholtz einen sehr interessanten „Report on Sir William Thomson's Mathematical and Physical Papers" in der „Nature", in dem er die genialen Arbeiten seines Freundes mit der grössten Bewunderung bespricht. Er sieht das grosse Verdienst in den wissenschaftlichen Methoden von Thomson darin, dass er folgend dem von Faraday gegebenen Beispiel so viel wie möglich Hypothesen über unbekannte Gegenstände vermeidet und sich bemüht, durch seine mathematische Behandlung der Probleme einfach das Gesetz von beobachtbaren Vorgängen auszudrücken. Durch diese Umschreibung seines Feldes hat Thomson stets die Analogie zwischen den verschiedenen Vorgängen der Natur viel deutlicher hervorgehoben als es der Fall wäre, wenn es complicirt würde

durch weit divergirende Ideen in Bezug auf den inneren Mechanismus der Phänomene.

In den letzten Tagen des Jahres 1885 erhielt Helmholtz von Donders die Mittheilung, dass die ophthalmologische Gesellschaft ihm die erste zum Andenken Albrecht von Graefe's gestiftete Medaille zugesprochen habe, und dass ihm dieselbe im Herbste des nächsten Jahres in Heidelberg überreicht werden sollte. Er antwortete Donders am 31. Januar 1886:

„Ueber die Ertheilung der Graefe-Medaille habe ich mich sehr gefreut, um so mehr, da lange Jahre vergangen waren, in denen ich die Ophthalmologen nicht mehr an mich erinnert habe ... Das zweite Heft der physiologischen Optik wird in wenigen Tagen erscheinen und Ihnen zugehen. Die Farbenlehre, fürchte ich, wird einige Stockungen im Druck verursachen, da hat sich eine enorme Litteratur aufgehäuft. . . . Uns geht es im Ganzen gut; wenn ich auch einzelne kleine Unbequemlichkeiten des wachsenden Alters merke, so kann ich über Mangel an Arbeitsfähigkeit nicht klagen; ich wollte nur, dass ich mehr freie Zeit hätte. Eine Ursache, die mir lange Jahre hindurch fast wöchentlich einen Tag wegnahm, nämlich die Migräne, ist fast ganz verschwunden. Man sagte mir immer, dass sie mit steigendem Alter endlich weiche. Die Hauptsache freilich ist, dass man lernt, wie viel man unternehmen darf und das sorgfältig beachtet. . . .“

Nach Schluss des Sommersemesters 1886 reiste Helmholtz — seine Frau war wegen Erkrankung ihres Sohnes verhindert ihn zu begleiten — nach Heidelberg zur Theilnahme an der Feier des 500 jährigen Jubiläums der Universität und hielt dort bei dem Festmahle am 4. August im Auftrage aller Versammelten, in Gegenwart des Kronprinzen des Deutschen Reiches und des Grossherzogs von Baden, des Rectors der Universität, die nachfolgende Rede zu Ehren Heidelbergs:

„Mir ist der ehrenvolle Auftrag zuertheilt worden, auf die Stadt Heidelberg einen Trinkspruch auszubringen, und gerne erfülle ich diesen Auftrag, da Heidelberg meinem Herzen nahe steht. Ich habe diese Stadt zuerst als Tourist kennen gelernt und den Zauber ihrer Schönheit gleich tief gefühlt.

Es giebt eine echte und eine falsche Schönheit. Der Eindruck der letzteren schwächt sich ab, wenn man ihr zum zweiten Male gegenübersteht, sie langweilt, wenn man sie mehrfach sieht. Ich habe nun ausgedehnte Gelegenheit gehabt, Heidelbergs Schönheit als echt zu erproben; denn mir hat ein günstiges Geschick gestattet, zwölf Jahre hier zu verleben, und während dieser Zeit ist der Zauber der Stadt nicht geschwunden.

Die Individualität des Menschen ist ein Product seiner Geschichte, und so ist die Liebe zu Heidelberg ein Stück meiner Seele geworden.

Ich will mich nun aber nicht in eine poetische Beschreibung von Heidelbergs Schönheit ergehen. Denn das haben Tausende vor mir schon gethan, darunter die ersten Dichter deutscher Zunge, von Goethe bis auf den uns erst jüngst Entrissenen, dessen Lieblingsthema diese Stadt gewesen ist. Ihnen kann ich nicht nacheifern. Mir scheint, jeder spricht am besten von dem, was er selbst am besten kennt, und Heidelbergs Ehrenkranz wird am schönsten, wenn mannigfaltige Blumen hineingeflochten werden, mag darunter auch einmal eine etwas absonderliche sein. Darum will ich die Schönheit dieser Stadt von dem Standpunkte als Naturforscher betrachten.

Ist es ein Zufall, dass von diesen grünen Hügeln aus der geistige Blick des Menschen zum ersten Male mit der Einsicht, wie die chemische Natur der Weltkörper zu ergründen ist, in die unermesslichen Himmelsräume drang? Ein Unterfangen, welches unmittelbar vorher noch als die abenteuerlichste Unmöglichkeit erscheinen musste! Ich glaube

das Gegentheil. Etwas vom Schauen des Dichters muss der Forscher in sich tragen. Freilich ist letzterem mühsamere und geduldigere Arbeit nöthig, um das Material zu sichten und bereit zu machen. Aber Arbeit allein kann die lichtgebenden Ideen nicht herbeizwingen. Diese springen, wie die Minerva aus dem Kopfe des Jupiter, unvermuthet, ungeahnt; wir wissen nicht, von wannen sie kommen. Nur das ist sicher: Dem, der das Leben nur zwischen Büchern und Papier kennen gelernt hat, und Dem, der durch einförmige Arbeit ermüdet und verdrossen ist, Dem kommen sie nicht. Die Empfindung von Lebensfülle und Kraft muss da sein, wie sie vor Allem das Wandern in der reinen Luft der Höhen giebt. Und wenn der stille Frieden des Waldes den Wanderer von der Unruhe der Welt scheidet, wenn er zu seinen Füssen die reiche üppige Ebene mit ihren Feldern und Dörfern in einem Blick umfasst, und die sinkende Sonne goldene Fäden über die fernen Berge spinnt, dann regen sich auch wohl sympathisch im dunkeln Hintergrunde seiner Seele die Keime neuer Ideen, die geeignet sind, Licht und Ordnung in der innern Welt der Vorstellungen aufleuchten zu machen, wo vorher Chaos und Dunkel war.

Heidelberg, die Zuflucht müder und beladener Seelen, die Erquickungsstätte der Leidenden, die Stadt strenger Arbeit und jugendlicher Begeisterung, die wir alle lieben und zu der wir gekommen sind, weil wir sie lieben,

Alt' Heidelberg, die feine,
Die Stadt an Ehren reich,

sie wachse, sie blühe, sie lebe!"

Unmittelbar nach dem Jubiläum der Universität fand in Heidelberg am 9. August in feierlicher Sitzung der ophthalmologischen Gesellschaft die Ueberreichung der Gräfe-Medaille statt. Auf die schöne Anrede des Vorsitzenden Donders antwortete Helmholtz mit tiefempfundenen Aus-

drücken des Dankes und schloss seine längere Rede mit den Worten:

„Nun aber erlauben Sie, dass ich meinen Schluss auch in eine allegorische Form bringe, um keine persönlichen Bescheidenheiten zu verletzen. Nehmen wir an, da wir uns in einer Allegorie nicht an die historische Wahrheit zu binden brauchen, bis zu den Zeiten des Phidias hätte man keine hinreichend harten Meissel gehabt, um Marmor mit vollkommener Beherrschung der Form bearbeiten zu können. Höchstens konnte man Thon kneten oder Holz schnitzen. Nun aber findet ein geschickter Schmied, wie man Meissel stählen könne. Phidias freut sich der bessern Werkzeuge, bildet damit seine Götterbilder und beherrscht den Marmor wie niemand vor ihm. Er wird geehrt und belohnt. Aber die grossen Genies sind, wie ich immer gesehen, höchst bescheiden gerade in Beziehung auf das, worin sie andern höchst überlegen sind. Gerade das wird ihnen so leicht, dass sie schwer begreifen, warum die andern es nicht auch machen können. Mit der hohen Begabung ist aber auch immer die entsprechende grosse Feinfühligkeit für die Fehler ihrer eigenen Werke verbunden. Demgemäss sagt Phidias in einem Anfall von grossmüthiger Bescheidenheit dem Musterschmied: „Ohne Deine Hülfe hätte ich das alles nicht machen können. Die Ehre und der Ruhm gebühren Dir.“ Dann kann ihm der Schmied doch nur antworten: „Ich hätte es aber auch mit meinen Meisseln nicht machen können, Du würdest doch ohne meine Meissel wenigstens in Thon wunderbare Bildwerke haben kneten können. So muss ich die Ehre und Ruhm ablehnen, wenn ich ein ehrlicher Mann bleiben will.“ Nun wird Phidias der Welt entrissen; es bleiben Freunde und Schüler, Praxiteles, Paionios und andere. Sie brauchen alle den Meissel des Schmiedes, die Welt füllt sich mit ihren Werken und ihrem Ruhm. Sie beschliessen, das Andenken des Geschiedenen zu ehren durch einen Kranz, den der erhalten

soll, welcher am meisten für die Kunst und in der Kunst der Bildnerei gethan. Der geliebte Meister hat den Schmied oft als den Urheber ihrer grossen Erfolge gerühmt, und sie beschliessen endlich, ihm den Kranz zu geben. Gut, antwortet nun der Schmied, ich füge mich. Ihr seid viele und unter euch sind kluge Leute, ich bin nur einer; ihr versichert, dass ich euch vielen viel geholfen habe, und dass nun in vielen Orten Bildner sitzen und die Tempel mit Nachahmungen eurer Götterbilder schmücken, die ohne die Werkzeuge, die ich euch gegeben, wohl wenig geleistet haben würden. Ich muss euch glauben, denn ich habe nie Marmor gemeisselt, und dankbar annehmen, was ihr mir zuerkennt. Ich selbst aber würde meine Stimme dem Praxiteles oder Paionios gegeben haben."

„Gestern Abend und heute früh", schreibt ihm seine Frau, „haben die Zeitungen nun auch Deine schöne, aber schier zu bescheidene Antwortsrede gebracht. Nur der „Schmied" bist Du denn doch nicht, und namentlich ist mir's schwer, die Herren Augenärzte als ebensoviele Praxitelesse gegenüber von Dir zu denken. Diesen jüngeren Herren war es recht gut, einmal zu hören, wem sie überhaupt die Möglichkeit ihrer wissenschaftlichen Specialität verdanken. Sie betrachten nämlich, wie mir schon öfter scheinen wollte, den Augenspiegel als etwas so Selbstverständliches und Angeborenes, wie wir Gabel und Messer ansehen. Das werde ich doch nie verschmerzen, nicht dabei gewesen zu sein."

Aber diese „bescheidene Antwortsrede" war nur der Ausdruck seiner wahren Gesinnung; unmittelbar nachdem ihm die Kunde von der Ertheilung der Graefe-Medaille zugegangen, schrieb er an Laqueur, dass er eine gewisse Unbilligkeit gegen die gegenwärtig in diesem Gebiete Arbeitenden darin finde, dass man Erinnerungen an alte Arbeiten, welche anfangen, allmählich in das Gebiet des Historischen überzugehen, so betone.

Während seine Frau an einem der schweren lang-

wierigen Krankenlager seines Sohnes Robert festgebannt war, gedachte er seine Tochter Ellen in Interlaken auf einige Tage zu besuchen, erkrankte aber dort sehr bald ernstlich in Folge der übergrossen Anstrengungen, denen er sich in Heidelberg hatte unterziehen müssen. Am 22. August schreibt seine Frau, die zu ihm geeilt war, aus Interlaken ihrem Sohne Robert:

„Ich fand den Papa schlaff und krank und sehr melancholisch; er ist überzeugt, dass er hart an der Pforte des Todes vorbeiging, und ist auch noch in einem sonderbaren Zustande . . . In Papas stark theoretisirende und bedingte Folgsamkeit hat der Arzt sich nachträglich gefunden, und giebt ihm scheinbar nach . . .“

In den ersten Tagen des September vermochte er von Interlaken nach Rigi-Kaltbad überzusiedeln, und von dort mit seiner Frau Minghetti's und Blaserna in Selisberg zu besuchen.

Doch bald traten wieder schmerzhafte Rückfälle und seelische Depressionen bei Helmholtz ein.

„Papa muss nach Hause“, schreibt seine Frau, „muss richtig behandelt und beobachtet werden, muss geeignete Kost kriegen und aus der Hotelexistenz heraus. Wir können ihm zu Hause, wenn auch keine Bergluft, aber Ruhe und Pflege schaffen und das ist doch auch etwas.“

Sie fuhren zunächst zu Kussmaul nach Strassburg:

„Er hörte so concentrirt zu, stellte so klare und präcise Fragen, und dann sagte er mir: Ich kann wirklich nichts finden, aber ich würde den Zustand nicht leicht nehmen, man kann eben nicht Alles fühlen. Positiv krank ist er nicht, aber gesund auch nicht; grosse Vorsicht in der Ernährung sei nöthig.“

Eine Ruhezeit von einigen Wochen in Baden stellte Helmholtz fast völlig her.

Während seines Aufenthaltes auf dem Rigi hatte er eine Reihe von Beobachtungen gemacht, welche den Ausgangspunkt

seiner späteren grundlegenden meteorologischen Arbeiten bildeten. Er berichtete am 22. October 1886 der Physikalischen Gesellschaft in einem Vortrage „Ueber Wolken und Gewitterbildung“ nur ganz kurz von einem Phänomen, das er dort beobachtet hatte: Am Morgen eines Septembertages sei vom Känzli des Rigi die Aussicht nach dem Jura klar gewesen, während etwas tiefer die obere Grenze einer horizontalen trüberen und schwereren Luftschicht durch eine Schicht von dünnen Wölkchen angezeigt war, die von Nord nach Süd zogen und die ersten durch Störung und Aufrollung der Grenzfläche entstehenden Wirbel bildeten. Im Laufe des Tages seien diese Wölkchen gewachsen, bis sie gegen Abend zu grösseren Haufenwolken wurden, welche einzelne aus der unteren Schicht aufsteigende Ströme erkennen liessen, wonach die elektrischen Entladungen mit dem Ausgleiche der Wolkentheile unter einander begannen.

Noch gab er keine Erklärung dieser Phänomene, er musste seine Beobachtungen erst wissenschaftlich gestalten. „Ich hielt es für nützlich“, sagt er später, „soweit ich dazu im Stande war, speciell mit streng mechanischen Begriffen in die Meteorologie hineinzugehen und zu sehen, was sich im Augenblick lösen liess.“

„Ich kann diesen Brief nicht schliessen“, schreibt mir Bezold am 9. October 1902, „ohne noch besonders zu betonen, wie schmerzlich ich den Verlust der beiden grossen Physiker Helmholtz und Hertz empfinde, die nicht die Meteorologie als eine niedrig stehende Wissenschaft betrachteten, sondern selbst auch in diese Forschung eingriffen und ihr das lebhafteste Interesse entgegen brachten.“

Noch vor Ende dieses Jahres wurde er zum Vicekanzler der Friedensklasse des Ordens pour le mérite ernannt; er begab sich zu Menzel, dem Kanzler, um sich über seine Obliegenheiten belehren zu lassen, und Menzel erwiderte ihm: „Da kann ich Ihnen nur dasselbe sagen, was mir seiner Zeit Ranke zur Antwort gab: „Als Vicekanzler haben Sie

weiter nichts zu thun, als zu warten, bis ich todt bin, um dann Kanzler zu werden."

Im December 1886 erhielt Helmholtz von Hertz die Mittheilung von der Fortsetzung seiner schon in Berlin begonnenen und in Kiel fortgeführten Versuche, die schon die folgenreiche Bedeutung der von ihm gewonnenen Erkenntnisse ahnen liessen:

„Für die mir gütigst übersandten Abhandlungen", schreibt Hertz am 5. December aus Karlsruhe, „sage ich Ihnen meinen allerbesten Dank, dieselben haben mir als ein Zeichen Ihres Gedenkens die grösste Freude gemacht. Hoffentlich gelingt es mir auch, in das volle Verständniss derselben einzudringen, welches nicht eine leichte Sache ist. Ich möchte die Gelegenheit wahrnehmen, Ihnen über einige mir kürzlich geglückte Versuche zu berichten, weil ich bei Anstellung derselben schon die Hoffnung hatte, dieselben könnten Ihr Interesse erregen. Es ist mir nämlich gelungen, sehr sichtbar die Inductionswirkung eines ungeschlossenen geradlinigen Stromes auf einen andern ungeschlossenen geradlinigen Strom darzustellen, und ich darf hoffen, dass der betretene Weg mit der Zeit die eine oder andere an diese Erscheinung sich knüpfende Frage zu lösen gestatten wird."

Die nähere Ausführung und Beschreibung seiner Versuche setzte Helmholtz, der schon jetzt die ganze Tragweite derselben erkannte, in die grösste Aufregung; er griff nicht mehr in die weitere Entwickelung und Ausgestaltung dieser experimentellen Untersuchungen selbst ein, sondern überliess alles seinem grossen Schüler Hertz.

„Zunächst fühle ich eine stolze Freude darüber", sagt er später, „dass meine Gedankenarbeit fortleben soll und fortwirken soll in künftigen Generationen über mein individuelles Leben hinaus, und Sie werden es ja wohl begreifen, dass, so wie ein leiblicher Vater zunächst für das Wohl seiner leiblichen Söhne am meisten sorgt

und sie zu fördern bestrebt ist, ich gleichsam auch für meine Gedankenkinder eine Vorliebe habe, und Sie begreifen also, dass ich als der lebende Mensch nur meinen eigenen Ueberzeugungen folgen kann und auf sie das Hauptgewicht lege, und mich darüber freue, wenn gerade in ihrer Richtung die Fortentwickelung der Wissenschaft gefördert werden soll. Dann wieder kommt mir freilich der Zweifel, ob nicht meine eigenen Ideale zu eng und meine eigenen Principien an einzelnen Stellen nicht vollständig genug sind, um für alle Zukunft den Bedürfnissen der Menschheit zu genügen. . . . Nur die eine Fahne möchte ich hochhalten, dass der Zweck der Wissenschaft ist, die Wirklichkeit zu begreifen und das Vergängliche aufzufassen als die Erscheinungsform des Unvergänglichen, des Gesetzes."

Die Thätigkeit von Helmholtz im physikalischen Institut war in der letzten Zeit immer mehr in den Hintergrund getreten, seine grossen und umfassenden Untersuchungen über die Principien der Mechanik und die Ausdehnung der thermodynamischen Grundlehren auf die monocyklischen Systeme, die wir oben anzudeuten versucht haben, nahmen ihn fast ausschliesslich in Anspruch.

„Ich selbst habe diesen Winter über", schreibt er am 11. Mai 1886 an Lord Kelvin, „theils an der neuen Ausgabe meiner physiologischen Optik, theils mathematisch gearbeitet und bin dabei leider gar nicht mehr zum Experiment gekommen."

Es war für Helmholtz ein unabweisbares Bedürfniss geworden, seine Lehrthätigkeit entweder aufzugeben oder wenigstens wesentlich einzuschränken, um den Untersuchungen, welche ihn jetzt bis an sein Lebensende fast ausschliesslich beschäftigten, den grössten Theil seiner Arbeitszeit und Arbeitskraft widmen zu können, und ein glückliches Geschick liess auch bald diesen Wunsch in Erfüllung gehen.

„Es kam die Zeit“, sagt du Bois, „wo unser grosser Freund, Werner von Siemens, zum Theil mit eigenen, nur ihm möglichen riesigen Geldopfern die Gründung einer physikalisch-technischen Reichsanstalt in Charlottenburg zu Wege brachte. Nun war uns nicht unbekannt, dass Siemens immer mit Bedauern sah, wie Helmholtz einen grossen Theil seiner Zeit und Kraft, anstatt der Fortführung seiner unvergleichlichen Arbeiten, seinem Lehramte widmen musste, und es blieb uns auch nicht verborgen, dass er Helmholtz die Stelle eines Präsidenten jener Anstalt zugedacht hatte, als eine solche, welche ihn von jeder andern, als einer wissenschaftlichen Thätigkeit befreien würde, eine Lage, wie nur ein reiner Akademiker sie sich als ideal träumen konnte.“

Die ersten Vorschläge zur Errichtung eines der Förderung der exacten Wissenschaften und Präcisionstechnik zu widmenden Staatsinstituts wurden schon am 30. Juli 1872 von Schellbach, unterstützt durch Helmholtz, du Bois-Reymond, Paalzow, Bertram und Förster aufgestellt und fanden damals die lebhafteste Unterstützung des Kronprinzen, späteren Kaisers Friedrich. In Folge dieser Anregung berief Generalfeldmarschall von Moltke als Vorsitzender des Central-Directoriums der Vermessungen im preussischen Staate gegen den Schluss des Jahres 1873 eine Fachcommission, von welcher im Januar 1874 „Vorschläge zur Hebung der wissenschaftlichen Mechanik und Instrumentenkunde“ gemacht worden sind; in diesen Vorschlägen wurde hervorgehoben, dass für den Staat neben der Pflicht zur Fürsorge in dem vorhandenen Nothstande die ernste Aufforderung bestehe, der Pflege der Präcisionstechnik in Zukunft nicht bloss gelegentlich, sondern vielmehr systematisch seine Aufmerksamkeit zu widmen.

Die Verhandlungen, welche hierüber 1875/76 stattgefunden haben, führten zu dem Beschluss, dass anlehnend an die frühere Gewerbeakademie ein Institut für wissen-

schaftliche Mechanik gegründet werden sollte, welchem Projecte auch der Handels- und der Finanzminister ihre Zustimmung gaben. Dasselbe konnte jedoch in dieser Form nicht zur Ausführung kommen, da bald darauf an Stelle der Gewerbeakademie die Begründung einer technischen Hochschule zur Vereinigung der verschiedenen technischen Anstalten beschlossen und deren Bau in Angriff genommen wurde.

Der Gedanke zur Begründung eines Instituts für Mechanik wurde indessen 1879 beim Cultusminister, in dessen Ressort die technische Hochschule inzwischen übergegangen war, von dem Central-Directorium für Vermessungen in Preussen und dem Verein der Mechaniker von Neuem angeregt, und es wurden in Folge dessen im Cultusministerium Ende 1882 Conferenzen abgehalten, in denen der Anschluss eines solchen Instituts an die technische Hochschule beschlossen wurde. Die Ergebnisse dieser Berathungen, an denen von den Mitgliedern der früheren Commissionen Helmholtz, Reuleaux, Förster und Werner Siemens Theil nahmen, wurden in einer Denkschrift vom 23. Mai 1883 zusammengestellt; durch ein besonderes Votum wies Helmholtz auf die Nothwendigkeit hin, in dem Institut mit der mechanisch-technischen eine wissenschaftliche Abtheilung zu verbinden. In einer Denkschrift vom 16. Juni 1883 wurde unter wesentlicher Erweiterung des früheren Planes die Begründung „eines Instituts für die experimentelle Förderung der exacten Naturforschung und der Präcisionstechnik“ vorgeschlagen und ein Organisationsentwurf beigefügt. Von den Bemerkungen, mit denen Helmholtz diese Denkschrift begleitete, mögen die folgenden hervorgehoben werden:

„... Ich möchte daneben aber noch entschiedener betonen, dass auch nach der Seite der eigentlichen Wissenschaft hin eine ganze Reihe wichtiger Aufgaben vorliegt, die nicht mit den Privatmitteln einzelner Beobachter oder durch die

zum Zwecke des Unterrichts gegründeten Laboratorien unserer Universitäten gelöst werden können, weil sie zu ihrer Bewältigung theils kostbare Hülfsmittel an Instrumenten und Localitäten, theils auch freiere Arbeitszeit erfahrener und urtheilsfähiger Beobachter erfordern, als der Regel nach ohne Unterstützung aus öffentlichen Mitteln zu beschaffen sein werden. Bisher ist es fast ausschliesslich die Astronomie gewesen, deren Pflege der Staat in eigenen vorzugsweise der wissenschaftlichen Forschung und nur in zweiter Linie dem Unterricht gewidmeten Instituten, den Sternwarten, übernommen hat. Trotz des weiten Abstandes, durch welchen die Objecte dieser Wissenschaft von allen Objecten irdischen Nutzens getrennt zu liegen scheinen, hat sich auch hier die alte Regel bewährt, dass jede ernste wissenschaftliche Arbeit ihre praktische Anwendung schliesslich da bringt, wo man es vorher am wenigsten vermuthet hätte. Abgesehen davon, dass die Astronomie durch die Vorstellungen, welche sie uns vom Bau des Weltsystems giebt, eine totale Revolution in unserer ganzen Weltanschauung hervorgebracht hat, hängt unsere Schiffahrt, die Sicherung der bürgerlichen wie der historischen Zeitrechnung wesentlich von ihr ab; auch die Kunst der praktischen Optik, der höheren Uhrmacherei, sowie alle Verfeinerungen der Längen- und Winkelmessungen haben sich direct an den von ihr gestellten Aufgaben entwickelt. . . . Endlich würde es für den höheren wissenschaftlichen Unterricht von höchster Wichtigkeit sein, wenn eine kleine und ausgewählte Zahl junger Männer, die ihre Fähigkeit zu experimentellen Untersuchungen bereits erwiesen haben, als Assistenten oder Volontärs an einem derartigen Institut arbeiten könnten, und dadurch Gelegenheit bekämen, die Anwendung möglichst vollkommener Methoden und Hülfsmittel kennen zu lernen."

Ausführlich geht nun Helmholtz auf die Gründe ein, welche die Errichtung einer wissenschaftlichen Abtheilung der physikalisch-technischen Reichsanstalt in Verbindung

mit der mechanisch-technischen wünschenswerth machen. Schon früher hatte er sich über die Aufgaben der wissenschaftlichen Abtheilung des in Aussicht genommenen Physikalisch-mechanischen Institutes ausgesprochen und als solche bezeichnet:

1. die genaue Bestimmung der Intensität der Schwere und Vergleichung dieser Intensität an verschiedenen Stellen der Erdoberfläche,
2. die absolute Messung der Gravitation oder die Bestimmung der mittleren Dichtigkeit der Erde,
3. die Fortsetzung der genauen Bestimmung der Geschwindigkeit des Lichtes in irdischen Entfernungen, welche Bestimmung geeignet ist, die kosmischen Entfernungen auf irdisches Längenmaass zu reduciren;
4. in der Lehre von den magnetischen Wirkungen der elektrischen Ströme spielt eine der Lichtgeschwindigkeit, wie es scheint, genau gleiche Geschwindigkeit, von W. Weber als die kritische bezeichnet, eine fundamentale Rolle. Ihre Gleichheit mit der Lichtgeschwindigkeit scheint mir eine wesentliche innere Verwandtschaft zwischen den optischen und den elektrischen Vorgängen anzuzeigen. Die Einsicht in die räthselhaften Seiten namentlich der elektromagnetischen Erscheinungen scheint hier einen leitenden Faden gewonnen zu haben, der uns wahrscheinlich zum tiefsten Grunde derselben führen wird;
5. Untersuchungen über die elektrischen Maasseinheiten,
6. die Messungen über Druck und Dichtigkeit der Gase und Dämpfe bei verschiedenen Temperaturen und die Messung der dabei verbrauchten Wärmemengen.

Er hebt weiter hervor, dass durch Gründung einer wissenschaftlichen Abtheilung „auch die Möglichkeit geboten würde, dass ältere und bewährte Physiker Deutschlands die Gelegenheit finden könnten, einzelne Unter-

suchungen auszuführen, für welche sie in ihrem Heimathsorte nicht die nöthigen Hülfsmittel finden können".

„Einer Nation, die durch ihre Macht und Intelligenz eine der hervorragendsten Stellen unter den civilisirten Völkern einnimmt und zu bewahren hat, ist es offenbar nicht würdig, die Sorge für die Beschaffung solcher grundlegenden Kenntnisse anderen Nationen oder der zufälligen Liebhaberei einzelner günstig situirter Privatmänner zu überlassen. Deutschland ist auf diesem Wege bisher vorangeschritten durch Errichtung von Universitätslaboratorien für Chemie, Physik und Physiologie; dieselben sind rasch an Zahl und Ausdehnung gewachsen und sind in allen Nachbarstaaten nachgeahmt worden."

Da nun der baldigen Ausführung dieses Projectes finanzielle Bedenken und namentlich auch die Schwierigkeiten zur Beschaffung eines passend gelegenen Bauterrains drohten, erbot sich Werner Siemens dem Unterrichtsminister gegenüber zur schenkungsweisen Ueberlassung eines in der Marchstrasse in Charlottenburg gelegenen Grundstücks von einem Hektar Flächeninhalt an den Preussischen Staat. Auf gewisse Bedenken des Ministers hin und im Hinblick auf die nationale Bedeutung des Planes, sowie in der Hoffnung auf eine Durchführung desselben in grösserem Umfange und mit reichlicheren Mitteln entschloss sich Siemens, das Preussen gemachte Anerbieten gegenüber dem Reiche am 20. Mai 1884 zu wiederholen durch Schenkung einer halben Million Mark in Grundwerth oder Kapital behufs Gründung eines Instituts zur Ausführung naturwissenschaftlicher Forschungen für technische Zwecke:

> „die Lehrsäle und Laboratorien der dem Lehrzwecke gewidmeten Universitäten und Schulanstalten sind", wie Siemens ausführte, „zur Anstellung entscheidender naturwissenschaftlicher Untersuchungen nicht geeignet, ebenso wenig die an ihnen angestellten Professoren. Es fehlen ihnen neben der Musse zur geistigen Vertiefung in

ihrer Forschungsaufgabe auch das geeignete Local und die Mittel zur Beschaffung der nöthigen Instrumente und Einrichtungen. Die zu begründende Anstalt soll dazu helfen, die wissenschaftlichen Leistungen unserer Nation in die Höhe zu bringen und zu erhalten, und derselben dadurch unter den Culturvölkern eine Ehrenstellung sichern."

Die zur Berathung der Organisation des Instituts im Winter 1884/85 einberufene Commission hielt daran fest, dass das vorgeschlagene Institut, für das später der Name „Physikalisch-Technische Reichsanstalt" gewählt wurde, eine wissenschaftliche und eine technische Abtheilung enthalten müsse, welche in lebendiger Wechselwirkung am besten gedeihen und die nationalen Interessen am besten fördern würden.

Bevor noch durch die Genehmigung des Reichshaushaltsetats für 1887/88 die erforderlichen Geldmittel etatsmässig zur Verfügung standen, hatte Siemens zur Beschleunigung des Projects bereits 1886 mit höherer Zustimmung den Bau der Anstalt auf eigene Gefahr in Angriff genommen, und derselbe wurde derartig gefördert, dass das Wohnhaus des Directors und das Verwaltungsgebäude schon 1889 bezogen werden konnten, während das Maschinenhaus und Observatorium erst 1890/91 fertig gestellt wurden.

Helmholtz wurde nun im April 1887 von dem Geh. Ober-Regierungsrath Weymann im Auftrage des Staatssecretärs des Innern der Antrag gemacht, das Präsidium der neu zu errichtenden Technisch-Physikalischen Reichsanstalt zu übernehmen; er erklärte sich am 4. April dazu bereit, wenn ihm durch das dafür zu gewährende Gehalt und freie Dienstwohnung die Einkünfte seiner Lehrämter an der Berliner Universität und an dem Medicinisch-Chirurgischen Friedrich-Wilhelms-Institut, die er aufgeben müsste, ersetzt werden könnten, vorausgesetzt, dass seine Stellung an der Akademie der Wissenschaften zu Berlin nicht geändert würde.

Nach Bewilligung dieser Forderungen von Seiten des Reichsschatzamtes wendet sich der Unterrichtsminister von Gossler auf eine Anfrage von Seiten des Reichsamts des Innern am 20. Mai an den Reichskanzler Fürsten von Bismarck:

„Ew. Durchlaucht beehre ich mich ganz ergebenst zu erwidern, dass ich die Hochderoseits in Aussicht genommene Berufung des Geheimen Regierungs-Rathes Professor Dr. von Helmholtz zum Präsidenten der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt auch meinerseits im Interesse der so überaus wichtigen Neuschöpfung nur mit Freude begrüssen kann. Ich erkläre mich desshalb zu jedem Entgegenkommen in dieser Angelegenheit gern bereit, indem ich hoffe, dass Hochdieselben geneigtest die Hand dazu bieten werden, den schweren Verlust möglichst zu mildern, welcher sich daraus für die hiesige Universität ergeben wird und der gerade in diesem Augenblicke um so empfindlicher ist, als das Fach der Physik in Folge der dauernden Erkrankung des Professors Dr. Kirchhoff und bei dem anhaltenden Leidenszustande des Professors Dr. Christiani mehr als sonst auf die volle Vertretung durch von Helmholtz angewiesen ist. . . . Mit Rücksicht darauf erlaube ich mir die Frage anzuregen, ob es nicht angängig sein wird, von Helmholtz in seiner Stellung als Professor in der Art zu belassen, dass derselbe von der Verpflichtung, an den Facultätsgeschäften und Prüfungen theilzunehmen, gleich einem quiescirten Professor vollständig entlastet wird und nur verbunden bleibt, was ihm so gut wie keine Mühe macht, regelmässig eine Vorlesung von 1 bis 3 Stunden wöchentlich aus dem Gebiete der theoretischen Physik zu halten. Diese geringfügige Belastung wird die Wirksamkeit des von Helmholtz bei der Reichsanstalt nicht beeinträchtigen, sondern nur erfrischend und fördernd auf dieselbe einwirken, da es für den Präsidenten der Reichsanstalt von Werth sein muss, eine lebendige Fühlung mit den aufstrebenden physikalischen

Kräften zu unterhalten. Für die Universität aber ist es von der grössten Bedeutung, dass ihr auf diese Weise, wenn auch in engster Begrenzung, der Mann erhalten bleibt, der schon seit Jahren als ihr wissenschaftliches Haupt anzusehen ist und der mehr als andere dazu beigetragen hat und beitragen wird, innerhalb derselben auf wissenschaftlichem Gebiete den Gegensatz zwischen Natur- und Geisteswissenschaften auszugleichen und auf politischem Gebiete den maassvollen conservativen Sinn zu pflegen, in welchem die Universität Berlin gegenwärtig den deutschen Hochschulen tonangebend vorangeht. Auch aus diesen allgemeinen Gesichtspunkten wird es sich daher empfehlen, von Helmholtz der Universität nicht ganz zu entziehen, sondern seine Verbindung mit derselben in der vorgeschlagenen Beschränkung zu erhalten. . . .“

Helmholtz entwarf nun einen Organisationsplan für die wissenschaftliche Abtheilung der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt und eingehende Statuten für die Befugnisse des Directors der physikalischen Abtheilung sowie für die Antheilnahme des Curatoriums an dem alljährlich aufzustellenden Arbeitsplan. Dem Präsidenten der Anstalt wurde das Recht vorbehalten, selbständig andere Aufgaben in Angriff zu nehmen und ausführen zu lassen. Die Geschäftsordnung wurde am 26. Juli 1888 vom Staatssecretär des Innern genehmigt.

Inzwischen hatte sich die philosophische Facultät der Universität, als sie von der Absicht Helmholtz's Kenntniss erhielt, seine Universitätsprofessur aufzugeben, an den Minister mit der Bitte gewandt, „schon jetzt hochgeneigtest Vorsorge zu treffen, dass Herr von Helmholtz auch bei Uebernahme seines neuen Amtes der Universität als Docent, der Facultät als ordentliches Mitglied erhalten bleibe“, und die Begründung dieser Bitte wurde in den folgenden, von Kronecker und Zeller vorgeschlagenen, Helmholtz und die Facultät in gleicher Weise ehrenden Worten gegeben:

„Zu dieser Bitte bestimmt uns ebenso die eminente

Bedeutung, welche es für das Ansehen und Wirken der gesammten Universität hat, einen Mann von solchem Weltruf unter ihren Docenten zu besitzen, wie das ausserordentlich grosse Gewicht, welches seinem Wort und Rath von der Facultät in ihren Sitzungen beigelegt wird. Wie Ew. Excellenz bekannt, erstreckt sich Herrn von Helmholtz's geniale Meisterschaft auf mehrere, seine eindringende Kennerschaft auf sämmtliche mathematisch-naturwissenschaftliche und auch auf philosophische und literarische Disciplinen. Dieses einzigen Mannes Urtheil ist aber darum von ganz besonderem Werth und selbst durch die Summe der Urtheile der einzelnen Fachmänner nicht zu ersetzen, weil es sich gerade in den Fragen, welche der Facultät vorliegen, fast immer um gegenseitige Abwägung der Interessen verschiedener Disciplinen handelt; und wer diese alle im Geiste vereinigt und zusammen übersieht, vermag die ebenso schwierige als wichtige Aufgabe offenbar richtiger und vollständiger zu lösen.

Wir geben uns der Hoffnung hin, dass Ew. Excellenz unser gehorsamstes Gesuch als ein wohlberechtigtes und ein wohlbegründetes erscheinen, und dass es Ew. Excellenz eifriger und weiser Fürsorge für die Interessen der Universität gelingen wird, den unersetzlichen Verlust abzuwenden, welcher ihr und insbesondere der philosophischen Facultät durch das Ausscheiden des Herrn von Helmholtz zugefügt werden würde."

Da nun der Minister darauf hin, und aus Rücksichten, welche die Gehaltsfrage betrafen, veranlasst, den dringenden Wunsch aussprach, dass Helmholtz mit der Universität in Verbindung bleibe, so erklärte sich derselbe in den zwischen ihm und Geheimrath Althoff gepflogenen Verhandlungen bereit, in jedem Semester eine zwei- oder dreistündige öffentliche Vorlesung zu halten, „vorausgesetzt, dass er von der Verpflichtung, an den Facultätsgeschäften und Examinibus theilzunehmen, entbunden würde".

Am 4. April 1888 wurde seine Ernennung zum Präsidenten der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt vollzogen.

So fand nun der Uebergang von Helmholtz zu dem ihm von Siemens geschaffenen Wirkungskreise zugleich unter Niederlegung seiner Professur der Physik an der medicinisch-chirurgischen Akademie für Militär zu Ostern 1888 statt, während derselbe an der Universität nur noch mathematisch-physikalische Vorlesungen über Mechanik, Elektricitätslehre, Wärmetheorie und Akustik hielt, die jetzt die ausgezeichnetsten Lehrbücher dieser Disciplinen bilden.

„Es liegt in der Natur der Dinge", sagt du Bois, „dass der Präsident eines so umfangreichen, vielfach gegliederten, zum Theil den Charakter einer Unterrichtsanstalt, zum Theil den einer Fabrik tragenden Instituts mit einem Personal von fünfzig Beamten eine gewaltige Menge von täglich sich erneuernden Verwaltungsgeschäften zu erledigen hat, welche weit entfernt, Helmholtz im Vergleich zu seinen bisherigen Beschäftigungen eine Erleichterung zu gewähren, durch ihre Neuheit und Fremdartigkeit ihn vielmehr erst recht belasteten."

Aber Helmholtz fühlte sich trotzdem bis zuletzt in seiner neuen Stellung glücklich und zufrieden; er fand für die vielen Verwaltungsgeschäfte, zu deren Abwickelung ihm jüngere und ausgezeichnete Männer zur Seite standen, reichlichen Ersatz in der Anregung, welche ihm die mannigfachen Probleme boten, die der wissenschaftlichen Abtheilung der Reichsanstalt zufielen, und in der Freiheit von den sich stets wiederholenden experimentellen Vorlesungen und den Vorbereitungen zu denselben, welche so viel von seiner Zeit und Kraft absorbirt hatten.

Während des letzten Jahres vor der definitiven Übernahme des Präsidiums der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt war vor allem das Interesse von Helmholtz durch die Untersuchungen von Hertz in hohem Grade in Anspruch genommen. Derselbe gab seinem Lehrer regelmässigen Bericht

über den Fortgang seiner Versuche und bittet ihn wiederholt, seine kurzen Berichte der Akademie vorzulegen,

> „da es sich um einen Stoff handelt, zu dessen Bearbeitung Sie mich selbst einmal vor Jahren aufforderten, und den ich deshalb gerade stets im Auge behalten habe, ohne dass ich indessen früher einen Weg gefunden hätte, der einigermassen Aussicht auf einen unzweideutigen Erfolg bot. Ich glaube, dass die hier benutzten elektrischen Schwingungen noch sehr nützlich für die Elektrodynamik ungeschlossener Ströme werden können“.

Am Ende des Jahres konnte er ihm schon seine bekannten Interferenzversuche zwischen den Wirkungen, welche sich durch den Draht, und denen, welche sich durch den Luftraum fortpflanzen, mittheilen, ohne jedoch noch eine endliche Ausbreitungsgeschwindigkeit der letzteren Wirkungen nachweisen zu können. Aber weit grössere Ueberraschungen bringen für Helmholtz die Briefe von Hertz aus den ersten Monaten des folgenden Jahres 1888; sie setzen ihn in die grösste und freudigste Aufregung — „Bravo! Herzliche Glückwünsche“ sind wiederholt die Schlussworte seiner kurzen Antworten, und als er du Bois die Arbeit von Hertz für die Akademie überschickt, in welcher nachgewiesen wird, dass die elektrodynamischen Wellen von festen leitenden Wänden reflectirt werden, dass die reflectirten Wellen bei senkrechter Incidenz mit den ankommenden interferiren und zu stehenden Wellen in der Luft Anlass geben, da fügt er in dem Briefe an du Bois die Worte hinzu, „die Arbeit von Hertz ist ganz genial“.

Helmholtz selbst setzte inzwischen seine elektrochemischen Arbeiten fort und fand bei seinen Versuchen, die untere Grenze der elektromotorischen Kraft zu bestimmen, welche zur Wasserzersetzung nöthig ist, eine Methode zur Cohäsionsbestimmung, die er unter dem Titel „Versuch, um die Cohäsion von Flüssigkeiten zu zeigen“, am 4. Februar 1887 der Physikalischen Gesellschaft vorlegte. Wenn man eine

Röhre, die sich von der eines Heberbarometers nur durch eine etwas grössere Länge des langen Schenkels unterscheidet, wie ein Barometer mit Quecksilber füllt und etwas Wasser in dem längeren Schenkel aufsteigen lässt, kann man es leicht dahin bringen, dass beim Aufrichten der Röhre die Flüssigkeit oben am Rohr und das Quecksilber am Wasser haftet, so dass sie nicht abreissen. Schiebt man nun einen Schlauch auf die Spitze des kurzen Schenkels und verbindet ihn mit der Luftpumpe, so kann man die Luft auspumpen, so weit es die Pumpe leistet, ohne die Flüssigkeit im Barometerrohre zum Abreissen zu bringen, so dass die Cohäsion der beiden Flüssigkeiten einen negativen Druck von mehr als einer Atmosphäre überwindet. Leitet man einen elektrischen Strom durch das Wasser, der Sauerstoff zum Platin, Wasserstoff zum Quecksilber treibt, so zerreisst die Wassersäule, sobald dessen elektromotorische Kraft im Stande ist, unter den gegebenen Bedingungen Wasserzersetzung einzuleiten.

Am Ende des Wintersemesters, am 6. März 1887, hielt er in Berlin bei der Gedenkfeier zur hundertjährigen Wiederkehr des Geburtstages von Joseph Frauenhofer in dem „ersten und prächtigsten Festsaal der Stadt“ eine meisterhafte Rede auf den berühmten Optiker, dessen allmähliches Emporsteigen er geistvoll und lebendig schilderte, um ihn schliesslich in der Art des Entwickelungsganges mit Faraday zu vergleichen. Aber er benutzte auch die Gelegenheit, um einen Gedächtnisstag des deutschen Bürgerthums zu feiern und die hervorragende Stellung zu betonen, welche die Kunst der praktischen Mechanik sich in Deutschland erobert hat.

„Ihre schönste Wirkung aber wird diese Feier haben, wenn sie unseren jungen Mechanikern — und nicht ihnen allein, denn derselbe Ruf ergeht an alle Richtungen des Handwerks — an dem Beispiel ihres grossen Genossen, dessen wir heute gedenken, vor Augen legt, welches Ziel auch der Aermste unter ihnen erreichen kann, und dadurch

ihre Hoffnung und ihr Vertrauen auf den endlichen Erfolg treuer und ausdauernder Arbeit belebt."

Die am Anfange dieses Jahres erfolgte Herausgabe der vierten Lieferung seiner physiologischen Optik hatte ihn vielfach wieder zu erneuter Behandlung der in derselben besprochenen Probleme geführt, doch waren jetzt die Gesichtspunkte, die ihn dabei leiteten, viel allgemeinerer Natur und culminirten bei all den schwierigen physikalisch-optischen Fragen jetzt in den umfassenden Untersuchungen über die monocyklischen Systeme und das Princip der kleinsten Wirkung. Am 1. April 1887 schrieb ihm H. A. Lorentz aus Leiden:

„In Ihrer Physiologischen Optik, S. 169, erwähnen Sie eines Satzes über die Gleichheit der Verhältnisse, in welcher die Intensität eines Lichtstrahles geändert wird, wenn dieser einem gewissen Wege oder dem entgegengesetzten folgt. Diesen Satz, den später Herr Kirchhoff bei seinen Betrachtungen über die Beziehung zwischen Emissions- und Absorptionsvermögen benutzt hat, kann, wie Sie sagen, Jeder, der die Gesetze der Optik kennt, leicht selbst beweisen. Natürlich folgt in einfachen Fällen der Satz aus den bekannten Formeln für die Intensität reflectirten und gebrochenen Lichtes, aber es schien mir wünschenswerth, denselben aus allgemeinen Principien herzuleiten und nicht aus Formeln, welche sich auf specielle Ansichten über den Mechanismus der Lichtbewegung stützen. Einen derartigen Beweis erlaube ich mir Ihnen anbei für einen speciellen Fall mitzutheilen, in der Hoffnung, dass Sie demselben einige Augenblicke schenken wollen. Aehnliche Betrachtungen lassen sich auch in anderen Fällen anwenden, und überhaupt lässt der Gegenstand verschiedene weitere Entwickelungen zu. Wenn Sie die Güte haben wollen, mir mit einigen Worten mitzutheilen, ob bei Ihnen von diesem Beweise, oder von einem noch einfacheren die Rede war, so würde ich Ihnen zu lebhaftem Danke verpflichtet sein."

Die Antwort von Helmholtz vom 5. April lautete:

„Was Ihre Frage betrifft, wie ich den Beweis eines allgemeinen Reciprocitätsgesetzes für den Gang der Lichtstrahlen führen wollte, so habe ich zur Zeit, wo ich die physiologische Optik schrieb, die Sätze über die kleinen Oscillationen eines beliebig zusammengesetzten mechanischen Systems im Sinne gehabt, welches um eine Lage stabilen Gleichgewichts oscillirt. Die allgemeinste Form des Reciprocitätsgesetzes für beliebige Bewegungen findet sich in meinen neuesten Aufsätzen über das Princip der kleinsten Wirkung in § 6 und § 7. Ich schicke gleichzeitig mit diesem Briefe unter Kreuzband ein Exemplar davon an Sie ab. Will man auf dem Boden der Optik bleiben und bei deren bekannten Gesetzen, so ist ein Beweis, wie Sie ihn mir mitzutheilen die Güte hatten, für eine grosse Menge von Lesern jedenfalls sehr instructiv, und ist allgemeiner, als was ich damals veröffentlicht habe. Dass die Doppelbrechung das allgemeine Gesetz nicht störe, hatte ich mir in der That damals in ähnlicher Weise klar gemacht. Schwerer wird die Diffraction zu behandeln sein und schwerlich anders als durch die allgemeinen mechanischen Sätze. Die Absorption fügt sich leicht ein, falls nicht Fluorescenz sich einmischt.“

Der Wunsch, noch in diesem Jahre eine Reihe von früher unvollendet gebliebenen Untersuchungen abzuschliessen, führte ihn im Sommer wieder in das Gebiet der Elektrolyse; er überreichte der Akademie am 28. Juli 1887 eine Arbeit, betitelt: „Weitere Untersuchungen die Elektrolyse des Wassers betreffend“, welche an seine erste Arbeit, „Zur Thermodynamik chemischer Vorgänge“ vom Jahre 1883 anknüpfte und eine Reihe dort theoretisch hergeleiteter Resultate durch das Experiment prüfen sollte. Er hatte früher auf theoretischem Wege gefunden, dafs die elektrolytische Zersetzung des Wassers durch um so kleinere elektromotorische Kräfte müsse geschehen können, je kleiner die Mengen der in der Nähe der Elektroden gelösten Mengen Sauerstoff

und Wasserstoff seien, und dass keine andere untere Grenze als Null für die kleinste elektromotorische Kraft bestehe, die vollkommen gasfreies Wasser zersetzen könne. Es hatten sich aber für die experimentelle Bestätigung dieses Satzes grosse Schwierigkeiten dadurch ergeben, dass die Anode aus Platin oder beide Elektroden Wasserstoff oder verbrennliche Gase occludirt enthalten, mit denen der durch den Strom herangeführte Sauerstoff sich verbindet, so dass eine viel geringere elektromotorische Kraft Wasserstoffbläschen an der Kathode frei machen kann. Ein besonders dazu construirter Apparat und die sorgfältigsten Messungen gaben jetzt eine befriedigende Uebereinstimmung zwischen der Theorie und den Versuchen.

Schliesslich ist aus diesem Jahre noch einer Mittheilung experimenteller Natur Erwähnung zu thun, welche sich in den Verhandlungen der Physikalischen Gesellschaft vom October und November 1887 findet, betitelt „Zu dem Bericht über die Untersuchung einer mit der Flüssigkeit Pictet arbeitenden Eismaschine, erstattet von Dr. Max Corsepius“. Pictet hatte bei der von ihm construirten Eismaschine ein Gemisch von Kohlensäure und schwefliger Säure verwendet, dessen Dampfspannung wesentlich geringer ist, wie die der beiden Bestandtheile für sich; er lässt die Flüssigkeit verdampfen, wobei die gewünschte Kälte erzeugt wird, drückt den Dampf unter Aufwand von Maschinenarbeit wieder zusammen, kühlt dann auf die Verdampfungstemperatur ab und wiederholt den Vorgang, und es soll sich bei den Messungen über die Wirksamkeit das Resultat ergeben haben, dass die Arbeit der Maschine kleiner ist als diejenige, welche nach dem Gesetze von Carnot-Clausius nothwendig wäre, um die in niederer Temperatur von der Flüssigkeit Pictet aufgenommene Wärme in die höhere Temperatur des Condensators wieder abzugeben. Die gegebene Erklärung, dass die zur Wirkung kommenden chemischen Kräfte in höherer Temperatur eine Auflösung der beiden Flüssigkeiten

in einander mit verminderter Dampfspannung bewirken, während in niederer Temperatur die Flüssigkeiten sich wieder trennen, widerspricht, wie Helmholtz zeigt, dem allgemeinen thermodynamischen Gesetze, und er sucht den Widerspruch in dem Vorhandensein von Resten atmosphärischer Luft in den Röhren und in der Ungleichartigkeit der Zusammensetzung der gesättigten Dämpfe von Pictet's Flüssigkeit bei verschiedenen Temperaturen.

Helmholtz beabsichtigte in derselben Zeit seine thermodynamisch-chemischen Untersuchungen in einer im weitesten Umfange angelegten Arbeit, betitelt „Thermodynamische Betrachtungen über chemische Vorgänge", weiter auszuführen und zu einem gewissen Abschluss zu bringen; doch finden sich von dieser Bearbeitung nur einzelne Bruchstücke vor, von denen besonders die für einen weiteren Leserkreis entworfene Einleitung durch die Rücksichtnahme auf die Untersuchungen von Berthelot und anderen Forschern, und durch die überaus klare Disposition in der historischen Darlegung der in den letzten zehn Jahren in den Vordergrund getretenen physikalisch-chemischen Anschauungen von hohem Interesse ist:

„Da eine grosse Menge von Thatsachen erkennen lässt, dass die Wärme bei den chemischen Processen eine wesentliche Rolle spielt, haben in neuerer Zeit eine Anzahl hervorragender Forscher ihre Aufmerksamkeit den thermochemischen Untersuchungen zugewendet und ein ungeheures Maass von Arbeit daran gesetzt, um von dieser Seite sich dem Verständniss der chemischen Kräfte und ihrer Wirkungsweise zu nähern. Auch sind diese Untersuchungen durchaus nicht unfruchtbar gewesen, wenn auch im Einzelnen mancherlei anscheinende Irrationalitäten sich ergaben, welche zunächst als unerklärliche Ausnahme zwischen der überwiegenden Zahl gesetzmässiger Fälle stehen blieben.

Zunächst ist das schon von Lavoisier angenommene Princip durchgehends durch alle neueren Messungen immer

wieder bestätigt worden, dass die bei irgend einem chemischen Processe stattfindende Wärmetönung, wenn keinerlei anderes Arbeitsäquivalent, als allein Wärme, nach aussen hin abgegeben wird, durchaus nur von dem Anfangs- und Endzustand der in Wechselwirkung tretenden Körper, nicht von der Zeitdauer der Reaction und nicht von den durchlaufenen Zwischenstufen der Verbindung abhängt. Herr M. Berthelot hat dieses Princip (Principe de l'équivalence calorifique des transformations chimiques) als das zweite unter seinen drei allgemeinen Principien eingereiht. Für die älteren Physiker, die der stofflichen Theorie der Wärme anhingen, war dieses Princip der Ausdruck dafür, dass jede chemische Verbindung in jedem bestimmten Zustande der Aggregation eine bestimmte Menge zu ihrer Constitution gehörigen Wärmestoffs enthielt. Gegenwärtig betrachten wir dieses Princip als den Ausdruck des Gesetzes von der Constanz der Energie und folgern daraus, dass auch in den bei thermischen und chemischen Vorgängen eintretenden Molekularbewegungen nur conservative Kräfte thätig sind. Es ist dies eine wichtige Bestimmung für den allgemeinen mechanischen Charakter dieser sonst so verborgenen Kräfte. Welche allgemeinen Eigenschaften den conservativen Kräften zukommen müssen, d. h. den Kräften, bei deren Wirkungen das Gesetz von der Erhaltung der Kraft durchaus gewahrt bleibt, untersucht die theoretische Mechanik; es wird nicht nöthig sein, darüber hier weiteres zu sagen.

Dadurch ist es denn auch gerechtfertigt, die Wärmetönung bei einem chemischen Process als das Aequivalent der gesammten Arbeit molekularer Kräfte zu betrachten, welche bei der entsprechenden Reaction in Wirksamkeit gesetzt worden sind. Es ist dieses das von M. Berthelot als erstes hingestellte Princip der molekularen Arbeit. Er bezeichnet dabei, aus einem später noch zu besprechenden Motiv, die Molekularkräfte als chemische und physikalische; an dieser Stelle ist gegen diese Scheidung kein

Bedenken zu erheben, da beide hier in gleichem Sinne wirken. Ich möchte nur hier gleich, um den Sinn dieses Princips unzweideutig klar zu stellen, bemerken, dass unter den Arbeitswerthen der Anfangszustände sich auch die lebendige Kraft der Wärmebewegung der in die Reaction eintretenden Körper befindet, und dass nicht nothwendig die lebendige Kraft der thermischen Bewegung des Endzustandes genau den gleichen Werth zu haben braucht, auch wenn die gleiche Temperatur hergestellt ist. Unter der abgegebenen Wärme kann also auch ein Quantum dieser lebendigen Kraft stecken, welche nicht durch thätig gewordene Spannkräfte (potentielle Energie) weder von chemischer noch physikalischer Art neu erzeugt worden ist, sondern schon bestanden hat und in den Endverbindungen nur nicht weiter bleiben kann, ohne das Temperaturgleichgewicht mit der Umgebung zu stören. In der That zeigt eine grosse Anzahl von Anwendungen dieser Principien, dass Herr M. Berthelot unter dem physikalischen Theil der Molekulararbeit die ursprünglich vorhandene Wärmebewegung mit verstanden wissen will. Das Folgende wird aber zeigen, wie wichtig die Ermittelung gerade dieser Grösse ist, und auf welchem Wege sie immer geschehen kann.

In der von Herrn Clausius eingeführten mathematischen Formulirung der thermodynamischen Sätze empfangen diese beiden Principien einen sehr einfachen Ausdruck. Wenn wir nämlich die gesammte innere Energie der in die Reaction eintretenden Körper, von denen wir annehmen, dass sie alle dieselbe Temperatur ϑ im Anfange und zu Ende des Processes haben, für den Anfangszustand mit U_0, für den Endzustand mit U_1 bezeichnen, so ist die entwickelte Wärme Q durch die Gleichung gegeben $J.Q = U_0 - U_1$. Darin ist J das mechanische Aequivalent der Wärmeeinheit, und es wird, wie schon oben bemerkt, vorausgesetzt, dass keine andere Arbeitsform, als allein Wärme nach aussen abgegeben, beziehlich von aussen aufgenommen werde. Die

Gesammtenergie U umfasst alle potentielle und actuelle Energie, d. h. die ganze durch Bewegungskräfte zu leistende Arbeit, und die ganze lebendige Kraft der betreffenden Körper in ihren jeweiligen Zuständen. Die Wärmetönung also, wie sie bei den bisherigen thermochemischen Untersuchungen bestimmt wurde, misst nur die Veränderungen dieser Function U.

Endlich hat Herr M. Berthelot noch ein drittes Princip aufgestellt, das Princip der grössten Arbeit von ihm genannt, welches er so ausspricht: „Jede chemische Veränderung, welche ohne Einmischung einer fremden Energie zu Stande kommt, strebt denjenigen Körper oder dasjenige System von Körpern hervorzubringen, dessen Bildung die meiste Wärme entwickelt.“ Dieses letztere Gesetz ist offenbar in einer Mehrzahl von Fällen richtig, aber es erleidet eine Menge von Ausnahmen. Zunächst würde daraus folgen, dass durch alle rein chemischen Vorgänge, die von selbst eintreten und ablaufen, immer nur Wärme entwickelt werde, niemals Kälte. Falls sich also Kälte durch einen solchen Process entwickelt, muss geschlossen werden, dass fremde, nicht chemische Kräfte im Spiele sind.

Als solche nicht chemische Kräfte, physikalische, wie er sie nennt, betrachtet nun Herr Berthelot namentlich die Wärme, zum Theil auch die Kräfte, welche Auflösung und Krystallisation hervorbringen. In einer grossen Anzahl von Fällen, wo Kälte entsteht, werden feste Körper flüssig, oder aus Flüssigkeiten entwickeln sich Gase oder Dämpfe, so dass eine Bindung latenter Wärme stattfinden muss, die als Grund der entstandenen Kälte angesehen werden kann. Solche Fälle lehren also, dass die Bindung latenter Wärme, wie sie bei dem Wechsel der Aggregatzustände stattfindet, kein Hinderniss für das Spiel der chemischen Kräfte ist, ebenso wenig wie sie ein Hinderniss z. B. für die Herstellung des vollkommenen mechanischen Gleichgewichts des Dampfes einer Flüssigkeit mit äusseren Druckkräften ist.

In der That hat Herr Berthelot in seiner zusammenfassenden Darstellung der Thermochemie systematisch diese Abscheidung der latenten Wärme der geänderten Aggregatzustände durchzuführen gesucht, und damit werden in der That eine grosse Menge von Ausnahmen gegen sein drittes Gesetz beseitigt.

Wir müssen aber offenbar weiter gehen, es sind nicht bloss die Fälle, wo die Aggregatzustände sich verändern, die eine Aenderung der Temperatur hervorbringen, sondern eine Menge von andern weniger eingreifenden Aenderungen in der Dichtigkeit, Krystallisation, überhaupt im Molekulargefüge der Körper. Wir brauchen nur an die Volumänderungen der Gase zu denken. Wenn eine Flüssigkeit in gesättigten Dampf übergeht und beide auf ihrer bisherigen Temperatur gehalten werden sollen, so muss ihr die latent werdende Wärme zugeführt werden. Die Bildung des Dampfes, welche unter Druck das Volumen der ganzen Masse vermehrt, leistet gleichzeitig mechanische Arbeit; diese aber ist nur einem kleinen Theile der zugeführten Wärme äquivalent, und in dem Wärmequantum, welches wir als latent werdende Wärme zu bezeichnen pflegen, ist die dieser Arbeit äquivalente Wärmemenge mit eingeschlossen. Vergrössern wir nun das Volumen des gebildeten Dampfes immer weiter und weiter, so fährt er fort sich abzukühlen, wenn ihm nicht fortdauernd neue Wärmemengen von aussen zugeführt werden. Dabei fährt er auch fort Arbeit zu leisten, anfangs, in der Nähe des Sättigungspunktes merklich weniger Arbeit, als der verschwindenden Wärme entspricht; zuletzt nähert er sich aber mehr und mehr den Zuständen eines idealen Gases, wobei Arbeit und Wärmezuführung einander genau äquivalent werden.

Offenbar ist in der besprochenen Beziehung kein wesentlicher Unterschied, sondern ein allmählicher Uebergang zwischen diesen verschiedenen Stadien des Vorgangs, und wenn die Wärmebindung bei der Verdampfung nicht als

eine durch chemische Kräfte erzeugte negative Wärmetönung angerechnet werden darf, so wird dies auch von den entsprechenden Abkühlungen bei weiterer Dehnung des Dampfes gelten müssen.

Bisher ist der Name der latenten Wärme durchaus beschränkt worden auf diejenige Wärme, welche bei Aenderungen der Aggregatzustände gebunden wurde. Es scheint mir kein Grund vorhanden zu sein, sich darauf zu beschränken. Es ist klar, dass ganz Aehnliches vorgeht bei Aenderungen der Dichtigkeit und des molekularen Gefüges, ohne dass irgend welche chemischen Processe dabei vorkommen. Wir gewinnen im vorliegenden Falle an Kürze des Ausdrucks und bleiben im Gebiete der allen Physikern und Chemikern geläufigen Begriffe, wenn wir auch die Wärme, welche ein sich dehnendes Gas aufnehmen muss, um seine Temperatur zu behalten, als latent werdende Wärme bezeichnen. In diesem Sinne würde man also nicht nur einer Flüssigkeit mehr latente Wärme zuzuschreiben haben, als dem festen Körper, der aus ihr durch Erstarren entsteht, und dem Dampfe mehr als der Flüssigkeit, sondern auch dem stärker ausgedehnten Gase mehr als dem dichteren, und vielleicht verschiedenen Krystallisationsformen desselben festen Körpers verschiedene Mengen.

Will man aber die Menge latent oder frei werdender Wärme bei einem solchen Uebergange zwischen zwei verschiedenen Zuständen desselben Körpers experimentell bestimmen, so ist zu beachten, dass dies nur geschehen kann, wenn der Uebergang in umkehrbarer Weise ausgeführt werden kann. Wollten wir die frei werdende Wärme an einem Dampfe oder Gase, welches wir comprimiren, calorimetrisch messen, und benutzten wir dazu einen Apparat, der durch Reibung Wärme erzeugte, die an das Gas überginge, so würde diese als neu erzeugte Wärme zu betrachten sein, die sich bei der Abkühlung des Gases im Calorimeter zu der latenten Wärme hinzufügen und diese scheinbar

vergrössern würde. Das Umgekehrte bei der Dehnung des Gases oder Verdampfung der Flüssigkeit. Also werden, wie ersichtlich, bei allen solchen Messungen solche Vorgänge vermieden werden müssen, bei denen Arbeitsäquivalente anderer Art in Wärme verwandelt werden können. Es werden aber auch Ungleichheiten der Temperatur zwischen verschiedenen durch wärmeleitende Körper verbundenen Theilen des Apparates vermieden werden müssen, weil unter solchen Umständen ein Uebergang von Wärme in Arbeit oder umgekehrt eintreten könnte. Es sind die bekannten schon von Carnot aufgestellten Bedingungen der im Sinne der Thermodynamik umkehrbaren (reversiblen) Processe. Im strengen Sinne reversibel ist freilich kein Naturprocess; wir können die Reibung und Ungleichheiten der Temperatur durch sehr langsame und vorsichtige Ausführung zwar bis zu beliebigem Grade beschränken, aber nie ganz beseitigen, und die reversible Ausführung einer solchen Veränderung ist also immer nur ein Ideal; verlangt wird nur, dass im Wesen des beobachteten Vorgangs kein Hinderniss gegeben ist, sich diesem Ideale in der Ausführung bis zu jedem beliebigen Grade zu nähern.

Für einen jeden solchen reversiblen Uebergang zwischen zwei verschiedenen Zuständen eines Körpers oder eines Systems von Körpern, der bei unveränderter Temperatur von Statten geht, geben in der That die allgemeinen Gesetze der Thermodynamik, wie sie von Herrn Clausius formulirt sind, dem von uns erweiterten Begriffe der latenten Wärme eine ganz bestimmt definirte Bedeutung. Bezeichnen wir nämlich mit Q_1 und Q_0 die Wärmemengen, welche ein Körper oder Aggregat von Körpern bei immer constant bleibender Temperatur ϑ aller seiner einzelnen Theile aufgenommen hat, und mit S_1 und S_0 die Werthe derjenigen Function, die Herr Clausius Entropie genannt hat, so ist $J(Q_1 - Q_0) = \vartheta(S_1 - S_0)$. Die Function S hat einen Werth, der nur vom jedesmaligen Zustande des betreffenden Körper-

systems abhängig ist, nicht von dem Wege und den Zwischenzuständen, durch welche es denselben erreicht hat; unbestimmt bleibt in ihr nur eine willkürliche Constante. Darin liegt keine Schwierigkeit, da man doch immer nur mit den Unterschieden zu rechnen hat, welche diese Grösse zwischen je zwei verschiedenen Zuständen des betreffenden Körpersystems zeigt, wie denn auch in der obigen Gleichung nur eine solche Differenz vorkommt.

Das Product $S.\vartheta$ tritt also bei diesen Aenderungen des Zustandes, bei denen zunächst die Temperatur ϑ noch als constant bleibend vorausgesetzt ist, als das Maass der eingetretenen latenten Wärme auf. Wir wissen andererseits schon aus den allgemeinen Sätzen der Thermodynamik, dass ohne Ueberleitung eines Theils der vorhandenen Wärme in niedrigere Temperaturen bei ganz beliebigen Wechselwirkungen zwischen den verschiedensten Naturkörpern keine Wärme in andere Arbeitsformen verwandelt werden kann.

Die eingetretene latente Wärme kann also auch nur als Wärme wieder austreten. Insofern können wir aussagen, dass sie bis zur Herstellung des ursprünglichen Zustandes in dem Körper vorhanden ist.

Wenn Aenderungen der Temperatur eintreten, werden Uebergänge von Wärme in Arbeit möglich, das Verhältniss wird dadurch etwas verwickelter; es wird sich aber weiter unten zeigen, dass auch dann in ganz folgerichtiger Weise das Product $S.\vartheta$ als Maass der in den Körpern vorhandenen Wärme betrachtet werden kann.

In dem hier vorliegenden Sinne also würden wir die Grösse S zunächst als die Capacität des Körpers für latente Wärme bezeichnen können, welche Form der Erklärung vielen Naturforschern vielleicht anschaulicher sein wird, als die auf ziemlich abstracte Betrachtungen der Differentialwerthe einer Function, die von mehreren Variablen abhängt, gegründete ursprüngliche Erklärung des Begriffs der Entropie.

Dass wir die in den Körper eingetretene latente Wärme als dauernd in ihm vorhanden annehmen und diesen Begriff auch auf die bei der Ausdehnung eines Gases zur Erhaltung des Temperaturgleichgewichts eintretende Wärme beziehen, widerspricht der gewöhnlichen Ausdrucksweise, wonach die Arbeit, welche ein Gas leistet, auf Kosten der in ihm enthaltenen Wärme erzeugt, diese also dabei verbraucht wird. Indessen ist das, was als mechanische Arbeit ausgegeben wird, seiner Natur nach nicht ganz gleichartig mit dem, was als Wärme dem Gase zugeführt wird, wenn beides auch im Werthe des Arbeitsäquivalents übereinstimmt: Denn die nach aussen geleistete Arbeit ist frei verwandelbar in andre Arbeitsformen, die eingetretene Wärme ist es nur theilweise unter gewissen beschränkenden Bedingungen und in beschränktem Maasse. Dieses Verhältniss wird durch unsere Ausdrucksweise deutlicher bezeichnet, als durch die gewöhnliche.

Dies leitet uns über zu der Frage nach dem Betrage der äusseren Arbeit W, welche das bei constanter Temperatur sich ändernde Körpersystem leisten kann; diese ergiebt sich mit Benutzung der oben schon gebrauchten Function U, welche die gesammte innere Energie angiebt, aus den allgemeinen Sätzen der Thermodynamik in der Form $W = U_0 - U_1 - \vartheta(S_0 - S_1)$. Bilden wir also die neue, zuerst von Herrn Massieu aufgestellte Function $\mathfrak{F} = U - \vartheta . S$, so ergiebt sich für isotherme Veränderungen $W = \mathfrak{F}_0 - \mathfrak{F}_1$. In diesem Sinne hat Herr Gibbs die Grösse S das isotherme Potential des Körpersystems genannt, ich selbst habe dafür den Namen der freien Energie vorgeschlagen, weil dieselbe Arbeitsäquivalente darstellt, deren Ueberführung in andere Formen der Energie nicht denselben Einschränkungen unterliegt, wie die der Wärme.

Die oben schon angegebene Grösse der Wärmetönung kann nun mittels der obigen Gleichung so ausgedrückt werden: $U_0 - U_1 = W + \vartheta(S_0 - S_1)$. Bei den Versuchen über

Wärmetönung wird immer die Bedingung festgehalten, dass keine andere Arbeitsform als Wärme nach aussen hin abgegeben wird; d. h. auch die ganze Arbeitsmenge W muss zur Erzeugung von Wärme aufgebraucht sein, eine Bedingung, die sich bei dem gewöhnlichen ungehemmten Ablauf der chemischen Processe meist von selbst erfüllt. Dann spricht die obige Gleichung aus, dass die gesammte Wärmetönung aus zwei Theilen besteht, erstens aus der Arbeit W äquivalenten Wärme, welche nicht nothwendig als Wärme zu erscheinen brauchte, sondern auch in andere Arbeitsformen übergehen könnte, und zweitens dem Theile $\vartheta(S_0 - S_1)$, welcher der ausgetretenen latenten Wärme entspricht. Diese letztere war schon Wärme und kann, ohne in niedere Temperaturen übergeführt zu werden, nicht in irgend eine andere Arbeitsform übergehen.

Die hier eingeführte wichtige Function $\mathfrak{F}$ kann also auch als das Maass der von der Einmischung der latenten Wärme befreiten Wärmetönung angesehen werden, und ihr kommt in der That die Bedeutung zu, welche Herr Berthelot in seinem dritten Principe auszudrücken gesucht hat.

Es ist ein allgemeiner Satz der Thermodynamik, dass bei allen bekannten Arten von Wechselwirkungen zwischen Naturkörpern die Summe der Grössen S bei umkehrbaren Processen nur gleichbleiben, bei irreversiblen nur zunehmen kann. Wenn eine Veränderung im Körpersystem vorgeht, welche von aussen her gar keine Unterstützung empfängt und auch keine nach aussen abgiebt, so kann die betreffende Gesammtenergie U des Körpersystems sich höchstens durch Zu- oder Ableitung von Wärme ändern. Diese aber ändert die Grössen U und $\vartheta \,.\, S$ um gleichviel und lässt also $\mathfrak{F} = U - \vartheta \,.\, S$ unverändert. Daraus folgt, dass $\mathfrak{F}$ bei allen ohne äussere Unterstützung fortlaufenden Processen nur abnehmen kann. Herrn M. Berthelot's drittes Princip stimmt also mit den Folgerungen aus der Thermodynamik vollständig überein, wenn man die Wärmetönung $U_0 - U_1$ vollständig befreit von der durch die Ver-

änderung der Körper geänderten latenten Wärme derselben. Das letztere erfordert aber nicht blos die Berücksichtigung der Aggregatzustände, sondern auch der übrigen Structurveränderungen, und vollständig und rein kann die entsprechende latente Wärme im Allgemeinen nur beim Studium der reversiblen Uebergänge abgeschieden werden.

Wir würden also das genannte Princip nun so formuliren können: Ohne Unterstützung durch eine äussere Triebkraft können nur solche chemische Processe vorgehen, bei denen die Summe der freien Energie der concurrirenden Körper abnimmt, und können es das Princip von der Abnahme der freien Energie nennen.

Es ist dies ohne Frage ein Satz von der grössten Wichtigkeit für die Chemie, wenn auch zunächst noch viele Arbeit wird aufgewendet werden müssen, um die Werthe der freien Energie der einzelnen chemischen Elemente und Verbindungen zu bestimmen mit den Veränderungen, welche die Verschiedenheit der Temperatur, des Aggregatzustandes und der Auflösung bedingt. Auch entscheidet die durch dieses Gesetz constatirte Möglichkeit eines Processes noch nicht immer über sein wirkliches Eintreten. Ein Gewicht kann unter dem Einfluss der Schwere nach unten fallen; aber wenn es auf einer horizontalen Tischplatte liegt, fällt es zunächst nicht weiter. Doch kann ein leiser Anstoss bewirken, dass es zum Rande rollt und dann fällt. Noch sicherer liegt es und kann stärkeren Stössen widerstehen, wenn die Platte, die es stützt, concav ist. Aehnliche Hindernisse für die engste Vereinigung der Atome kommen offenbar in zahllosen Fällen der Molekularphysik vor.

In einzelnen Fällen kennen wir schon die Art des Hindernisses, so zum Beispiel bei den Siedeverzügen luftfreier Flüssigkeiten und bei der entsprechenden Zurückhaltung aufgelöster Gase über die Sättigungsgrenze hinaus. Hier ist es der capillare Druck, dem die ersten entstehenden Blasen des Gases oder Dampfes ausgesetzt sein würden,

so lange sie noch sehr klein sind. Dieser Druck ist $2\,T/r$, wenn T die Spannung der Oberfläche einer kugeligen Blase und r ihr Radius. Die kleinsten Blasen also können sich nicht halten und können nicht zunehmen, so lange der Druck in ihrem Innern noch grösser ist, als der Druck, unter dem der Dampf sich bilden oder das Gas entweichen kann. Haben sie aber eine gewisse Grösse überschritten, so wachsen sie von selbst weiter. In siedender Flüssigkeit sind es bekanntlich meistens die Bläschen aufgelöster Gase, die den ersten Kern der Dampfblasen abgeben. Eine vollkommen luftfrei gehaltene Flüssigkeit dagegen, die man zu erhitzen fortfährt, verwandelt sich dabei schon in eine Art explosiver Substanz.

Das Beispiel scheint mir bezeichnend für das Wesen der explosiven chemischen Processe zu sein, da wir es hier nur mit wohlbekannten Kräften zu thun haben. Es ist die Capillarkraft, d. h. die Cohäsion der Flüssigkeit, die innerhalb sehr enger Grenzen ein stabiles Gleichgewicht in der ungetrennten Flüssigkeit erhält. So wie aber irgend eine, möglicherweise höchst minutiöse Einwirkung eine Zerreissung über die Grenzen der Stabilität hinaus hervorbringt, tritt der neue Gleichgewichtszustand, unter Umständen mit grosser Gewaltsamkeit, ein.

Freilich wissen wir in den meisten anderen Fällen, namentlich bei den eigentlich chemischen Vorgängen, die Umstände, welche das Hinderniss bilden, entweder gar nicht, oder nur vermuthungsweise anzugeben. An das vorige Beispiel schliessen sich zunächst die verzögerten Krystallbildungen aus übersättigten Lösungen und das verzögerte Erstarren unter der Temperatur des Schmelzpunktes, dann die Wirkungen der Contactsubstanzen, welche selbst während ihrer Einwirkung ganz unverändert bleiben. Hier handelt es sich wahrscheinlich nur um eine veränderte Structur der Grenzschicht, hervorgebracht durch die Nebenlagerung fremder Molekeln; eine solche kann genügen, um

Bedingungen zu setzen, unter denen das leicht störbare Gleichgewicht der inneren Theile nicht mehr bestehen kann. Auch bei den übersättigten Lösungen von Gasen sind es meist Punkte der Wand, an denen sich die ersten Blasen entwickeln, die also gleichsam als Contactsubstanz wirken.

Im Knallgas kommen sich bei niederen Temperaturen die Molekeln beider Gase vielleicht nicht nahe genug, um auf einander zersetzend zu wirken, wohl aber in der verdichteten Grenzschicht längs einer berührenden Platinfläche.

Aehnlich kann ferner eine Erschütterung wirken, wie z. B. die durch einen kleinen elektrischen Funken hervorgebrachte, der eine grosse Menge Knallgas zur Explosion bringt. Hierbei ist die in dem Funken aufgewendete kleine Menge von Energie ganz ohne Beziehung zu der gewaltigen Menge, die durch die Explosion frei wird. Die gewaltige Wärmebewegung, welche durch die chemische Vereinigung der erst verbrennenden Theile des Gasgemenges hervorgebracht wird, dürfte hierbei die Erschütterung auf die übrigen Theile übertragen. Dasselbe gilt für alle Processe, die durch Anzünden eingeleitet werden müssen.

Ich hebe hervor, was immer noch wieder verkannt wird, dass in diesen Fällen die Bedingung, welche den Process einleitet, nicht als Ursache, sondern nur als Veranlassung zu betrachten ist, welche die Wirksamkeit der treibenden Kräfte frei macht, wie die Auslösung eines zum Gange bereiten Maschinenwerks, und dass man keinen Grad von Aequivalenz zwischen der zur Auslösung verwendeten Energie oder Temperatur und dem Hinderniss des Processes zu suchen hat. Alle diese Vorgänge aber können keine Ausnahmen gegen das oben aufgestellte Princip der abnehmenden freien Energie bilden.

Die freie Energie, welche die Elemente einer chemischen Verbindung im isolirten Zustande mehr enthalten, als im verbundenen, würde demnach auch als das Maass ihrer Verwandtschaft anzusehen sein.

In dieser Beziehung möchte ich noch folgendes bemerken. Die Verwandtschaft im Sinne der Chemiker ist eine Kraft, und die obige Definition würde sie einer Arbeit gleichsetzen. Aber wir haben zwei verschiedene Grundbestimmungen für das Maass der Kraft in dem einfachsten Falle der Bewegungskraft, an welchem sich der Begriff der Kraft ursprünglich entwickelt hat. Historisch die erste war Newton's Definition der Bewegungskraft, wo diese durch das Produkt aus der Masse und Beschleunigung gemessen wird. Aber bekanntlich kann man die Bewegungskraft, die in einer bestimmten Richtung wirkt, auch messen durch die Arbeit, dividirt durch die Weglänge, oder durch die Arbeit, berechnet für die Einheit der Weglänge. Diese letztere Bestimmung ist einer viel breiteren Verallgemeinerung fähig, als die erste. Geht man nun zur Untersuchung der Bewegung fester Körper oder zusammengesetzter mechanischer Systeme über, deren Lage durch irgend welche Coordinaten (räumliche Abmessungen) gegeben wird, so findet man, dass statt der ursprünglichen Kräfte, die auf einen einzigen materiellen Punkt wirken, Gruppen von Kraftcomponenten eintreten, die zusammengenommen auf das Eintreten einer bestimmten Veränderung hinwirken, und die von den älteren Mechanikern als Momente der Kräfte für diese bestimmte Veränderung bezeichnet werden. Auch diese können wir allgemein definiren als die Arbeit, welche die vorhandenen Kräfte bei Eintritt einer Veränderung verrichten, dividirt durch diese Veränderung. Da man für die Rechnung meist verschwindend kleine Veränderungen voraussetzen muss, so ist diese Grösse auch zu bezeichnen als der Differentialquotient der Arbeit, genommen nach der zu verändernden Coordinate. So ist z. B. das Drehungsmoment gegebener Kräfte für einen um eine Axe drehbaren Körper die Arbeit, welche sie bei kleiner Drehung leisten, dividirt durch den entsprechenden Drehungswinkel. Der Druck einer Flüssigkeit ist die Arbeit, welche

ihre Elasticität bei kleinster Volumenzunahme leisten würde, dividirt durch diese Volumenzunahme; oder der Druck ist das auf Volumenzunahme hinwirkende Kraftmoment. Diese Bestimmung passt nicht bloss auf Gase, sondern auch auf tropfbare Flüssigkeiten, da auch in diesen jeder Druck, den sie ausüben, Widerstand gegen Volumenverkleinerung ist. So ist ferner die capillare Spannung der Oberfläche einer Flüssigkeit die Arbeit, welche auf Herstellung der Flächeneinheit einer solchen Fläche verwendet werden muss u. s. w. Jedem meiner Leser, welcher mathematische Mechanik studirt hat, werden diese Begriffe namentlich aus der Formulirung bekannt sein, welche Lagrange den Bewegungsgleichungen in generalisirten Coordinaten gegeben hat. Nun ist in vielen solchen Fällen schon statt des verwickelteren Ausdrucks des Momentes der Kräfte abkürzend der Ausdruck „Kraft" gebraucht worden, und wenn man dabei die oben gegebene Definition beibehält, hat dieser Ausdruck ganz bestimmten Sinn und ist, so weit ich sehe, keiner Verwechselung ausgesetzt. Jedermann wird es natürlich finden, dass der Druck einer Flüssigkeit, die Spannung einer Membran, wie die einer Saite, als „Kräfte" bezeichnet werden, obgleich Newton's ursprüngliche Definition nicht auf sie passt, nur muss, wo nicht wie in diesen Beispielen schon abkürzende Namen in der Sprache ausgebildet sind, die Art der durch Wirkung der Kraft zu verändernden Grösse angegeben werden. Ich würde vorschlagen, im Deutschen dazu die Präposition „zu" anzuwenden. Also „die Kraft zur Aenderung einer Grösse p" wäre die Arbeit, welche bei einer verschwindend kleinen Aenderung dp geleistet wird, dividirt durch dp. In diesem Sinne wäre der Druck einer Flüssigkeit: „die Kraft zur Volumenvergrösserung", und die Capillarkraft: „die Kraft zur Oberflächenverkleinerung". Die elektromotorische Kraft einer galvanischen Batterie ist die Arbeit, geleistet beim Durchgang der gewählten Elektricitätseinheit durch jeden Querschnitt der Strombahn. In diesem

Sinne wäre die elektrische Potentialfunction eines Leiters: „die Kraft zum Austreiben positiver Elektricität"; das ist offenbar der Sinn, den man früher mit dem nicht deutlich definirten Ausdrucke der „freien Spannung" zu bezeichnen suchte. Und so wäre die elektromotorische Kraft einer Batterie: „die Kraft zum Durchtreiben positiver Elektricität". Ich bitte, diese Reihe neuer Namen nicht als Vorschläge zur Abänderung der schon eingebürgerten zu betrachten, sondern nur als Beispiele, an denen man die Richtigkeit und Natürlichkeit des Sinnes einer solchen, vollkommen fest definirbaren Bezeichnung erkennen kann.

Danach wäre also, was ich „die freie Energie" zu nennen vorschlage, bei chemischen Verbindungen, berechnet für die gewählte Einheit der Aequivalente, „die Kraft zur Verbindung äquivalenter Mengen". Das ist offenbar der Begriff, den man mit dem Namen der Verwandtschaft bezeichnen wollte. Nur wäre dieser Begriff nun als eine bestimmte Grösse definirt.

Acceptiren wir diese Definition des Begriffs Verwandtschaft, so können wir sagen: „Von selbst eintreten und ohne Unterstützung durch äussere Kräfte weitergehen können nur solche chemische Prozesse, bei denen die Summe der thätig gewordenen Verwandtschaften wächst." Oder:

Maass der chemischen Verwandtschaft.

Es lässt sich also der Begriff der Kraft in vollkommen klarer und folgerichtiger Weise verallgemeinern, wenn wir als Maass der Kraft, welche irgend eine Veränderung hervorzubringen strebt, ansetzen die freie Arbeit, welche bei dieser Veränderung geleistet werden kann, dividirt durch den Betrag der Veränderung. Wenn beim Fortschritt der Veränderung sich der genannte Quotient nicht ändert, können wir ihn für beliebig grosse Werthe der Veränderung mit gleichem Werthe finden. Im Allgemeinen wird die genannte Voraussetzung nicht zutreffen. Dann müssen wir das Verhältniss für sehr kleine Stufen der Veränderung berechnen.

So kann also z. B. die Componente der nach einer bestimmten Richtung hin wirkenden Bewegungskraft definirt werden als die bei Durchlaufung einer verschwindend kleinen Wegstrecke geleistete Arbeit, dividirt durch die Wegstrecke. So ist die Spannung einer Saite die Kraft, welche auf Verkürzung ihrer Länge abzielt, gleich der bei einer geringen Verkürzung geleisteten Arbeit, dividirt durch diese Verkürzung. So ist der Druck einer Flüssigkeit die auf Verminderung des Volumens gerichtete Kraft u. s. w.

In diesem Sinne genommen, können wir die chemische Verwandtschaft zweier in festen Aequivalenten sich verbindenden Körper definiren als die freie Arbeit, welche bei der Vereinigung der Einheit ihrer Aequivalente geleistet wird. Wenn wir also 1 g Wasserstoff als eine Einheit der Aequivalente wählen und mit $\mathfrak{F}_0$ den Werth der freien Energie beider zusammen vor der Vereinigung bezeichnen, berechnet für die einem Gramm Wasserstoff äquivalenten Mengen, mit $\mathfrak{F}_1$ dieselbe nach der Vereinigung, so wäre $(\mathfrak{F}_0 - \mathfrak{F}_1)$ das Maass der Verwandtschaft, welche auf die genannte Art der Vereinigung hinarbeitet.

Alle von selbst vor sich gehenden Umsetzungsprocesse, welche Kälte entwickeln, müssen nothwendig solche sein, bei denen die latente Wärme durch die Umsetzung steigt, und der Aufwand freier Energie, in Wärme verwandelt, nicht zureicht, die Kälte auszugleichen.

Zusammenhang zwischen der latent werdenden Wärme und der Aenderung der Kraft mit der Temperatur.

Bekannt ist der Zusammenhang, in welchem die Veränderung der Wärmetönung mit der Temperatur einerseits und die specifischen Wärmen der anfänglich und schliesslich vorhandenen Körper andererseits mit einander stehen. Wenn wir die Wärmecapacität des anfänglich vorhandenen Körpersystems mit C_0, die des zuletzt vorhandenen mit C_1 bezeichnen,

so wird diese Beziehung analytisch ausgedrückt durch die Gleichung: $\frac{\partial}{\partial \vartheta}\left[U_0 - U_1\right] = C_0 - C_1$.

Eine ähnliche Beziehung muss nach der mechanischen Wärmetheorie bestehen zwischen der bei einer gewissen Zustandsänderung latent werdenden Wärme und der Aenderung der Kraft, mit welcher diese Zustandsänderung eintritt mit steigender Temperatur. Es ist nämlich, wenn wir mit $P . dp$ die Arbeit bezeichnen, die bei constant bleibender Temperatur während der Zustandsänderung dp geleistet werden kann, $\vartheta \cdot \frac{\partial P}{\partial \vartheta} = \frac{\partial}{\partial p}\left[\vartheta . S\right]$.

Hierin ist $\vartheta . S$, wie wir oben gesehen, die latente Wärme; wenn sie mit steigendem p zunimmt, so heisst dies, es muss Wärme von aussen eintreten, um die durch die Aenderung bei reversibler Ausführung hervorgerufene Kälte aufzuheben. Die Kraft P, welche durch die Aenderung dp hervorgebracht wird, muss dann mit steigender Temperatur steigen. Letzteres wird also nothwendig immer der Fall sein müssen, wenn bei abnehmender Temperatur die betreffende Aenderung nicht mehr von selbst eintritt, wie z. B. Lösung eines Salzes in einer halbgesättigten Lösung. Bei allen Processen, welche von selbst Kälte entwickeln, muss das nothwendig der Fall sein. Es kann aber auch bei Processen vorkommen, welche bei nicht reversibler Ausführung Wärme entwickeln. In allen diesen Fällen ist die freie Energie grösser, als der Wärmetönung entspricht.

Die Zersetzungen aber, welche bei steigender Temperatur eintreten und bei sinkender Temperatur wieder zurückgehen (reversible Dissociationen), bei denen also die verbindende Verwandtschaft mit steigender Temperatur abnimmt, müssen nothwendig Wärme binden, wenn sie eintreten, und Wärme frei machen, wenn die Verbindung wiederum zu Stande kommt. Bei ihnen wird daher die freie Energie der Verwandtschaft kleiner sein als die Wärmetönung. Hierbei wird

also ein Theil der zur Steigerung der Temperatur zugeführten Wärme gebunden werden, und die Zersetzung kann nur bei dauernder Zuführung von Wärme vor sich gehen. Beispiele sind: Abdampfen von Lösungen, Zersetzung des rothen Quecksilberoxyds, des kohlensauren Kalks und der kohlensauren Magnesia, Zinks. Bei einzelnen dieser Dissociationen, wie $Cl.N.H_4$ und N_2O_4, geht die Wiedervereinigung bei sinkender Temperatur so schnell von Statten, dass man nur durch das vergrösserte Volumen, oder durch endosmotische Scheidung die Existenz der Dissociation nachweisen kann.

Nicht sicher gehören in diese Klasse diejenigen Zersetzungen, welche bei sinkender Temperatur nicht, wenigstens theilweise, die Verbindung wieder herstellen können; sicher gehören nicht hinein die, welche, nachdem der Process eingeleitet ist, auch nach Entfernung der Wärmequelle Wärme entwickeln und die Temperatur steigern, wie die Zersetzung des chlorsauren Kali. Im Gegentheil gilt für die normalen Fälle, wo die freie Energie der Verwandtschaft durch Null hindurch geht, die Regel, dass die Veränderungen in der Wärmebindung dem chemischen Processe, der sie hervorruft, immer hinderlich sind und durch Zu- oder Ableitung der Wärme erst beseitigt werden müssen, ehe derselbe weiter gehen kann.“

Das Scheiden von Helmholtz aus dem grossen Verbande der Berliner Universität, der er von nun an eigentlich nur noch als Ehrenmitglied angehörte, ist in der Geschichte seines nie rastenden wissenschaftlichen Wirkens markirt durch den seinem Freunde Eduard Zeller zu dessen fünfzigjährigem Doctorjubiläum gewidmeten philosophisch-naturwissenschaftlichen Aufsatz „Zählen und Messen, erkenntnisstheoretisch betrachtet“. Derselbe bildet eine wesentliche Ergänzung zu der von ihm vertretenen empiristischen Theorie, wonach die Axiome der Geometrie nicht mehr als unbeweisbare und keines Beweises bedürftige Sätze anerkannt werden,

und soll diese Theorie auch in Beziehung auf den Ursprung der arithmetischen Axiome rechtfertigen, die zu der Anschauungsform der Zeit in der entsprechenden Beziehung stehen.

Die bekannten fünf Axiome der Arithmetik 1. wenn zwei Grössen einer dritten gleich sind, sind sie unter sich gleich, 2. Associationsgesetz der Addition: $(a + b) + c = a + (b + c)$, 3. Commutationsgesetz der Addition: $a + b = b + a$, 4. Gleiches zu Gleichem addirt, giebt Gleiches, 5. Gleiches zu Ungleichem addirt, giebt Ungleiches, werden zunächst in Betreff ihrer Unabhängigkeit von einander und in ihrer Beziehung zur Erfahrung untersucht. Indem er das Zählen daraus herleitet, dass wir im Stande sind, die Reihenfolge, in der Bewusstseinsacte zeitlich nach einander eingetreten sind, im Gedächtniss zu behalten, wird für ihn die Lehre von den reinen Zahlen lediglich eine auf psychologischen Thatsachen aufgebaute Methode zur folgerichtigen Anwendung eines Zeichensystems von unbegrenzter Ausdehnung und Möglichkeit der Verfeinerung, zum Zwecke der Darstellung der verschiedenen, zu demselben Endergebniss führenden Verbindungsweisen dieser Zeichen. Nach der aus dieser Anschauung gewonnenen Definition der gesetzmässigen Reihe der positiven ganzen Zahlen und der Eindeutigkeit ihrer Aufeinanderfolge stellt er den Begriff der Addition der reinen Zahlen fest, indem er zunächst die Zeichenerklärung giebt, dass, wenn irgend eine Zahl mit einem Buchstaben a bezeichnet wird, die in der normalen Reihe darauf folgende mit $(a + 1)$ bezeichnet werden soll, und als Definition für $(a + b)$ diejenige Zahl der Hauptreihe aufstellt, auf welche man stösst, wenn man bei $(a + 1)$ Eins, bei $[(a + 1) + 1]$ Zwei u. s. w. zählt, bis man bis b gezählt hat. Und nun zeigt er, dass sich aus diesem Begriff der Addition der reinen Zahlen die Axiome der Arithmetik von der Gleichheit zweier Zahlen in Rücksicht einer dritten, das Associationsgesetz der Addition und das Commutationsgesetz nur durch die Uebereinstimmung des Ergeb-

nisses mit dem, welches aus dem Zählen von äusseren zählbaren Objecten hergeleitet werden kann, beweisen lassen. Die Zahlen sind ihm willkürliche Zeichen, um die Ordnung der Reihenfolge in der Zeit festzustellen, alles Zählen Anordnung der gezählten Dinge nach einer Reihenfolge in der Zeit, die Zusammensetzung der Zeittheile zu Zeitgrössen ist ihm Urtypus der Addition. Aber er giebt seine Definitionen für Objecte im Allgemeinen; die Definition der Gleichheit ist ihm: wenn zwei Dinge einem dritten gleich sind, sind sie unter sich gleich; die Permutation (Combination) ist die Zusammenfügung verschiedener Dinge, in der die Ordnung der Zusammenfügung nicht gleichgültig ist, Addition die Verbindung gleichartiger Dinge, unabhängig von der Ordnung der Zusammenfügung, Multiplication ist (wenigstens in allen Anwendungen), wie er in einer Notiz hervorhebt, die Verbindung ungleichartiger Grössen, wobei die Ordnung der Zusammenfügung gleichgültig ist; denn Einheiten irgend welcher Art werden mit abstracten Zahlen, oder horizontale mit verticalen Linien, oder Wege mit Massen multiplicirt. In den übrigen mathematischen Operationen ist die Ordnung nicht gleichgültig. Endlich ist ihm Grösse eine additive Verbindung gleichartiger Einheiten oder Theile, gleiche Grössen, die aus paarweise gleichen Theilen zusammengesetzt sind; additive Verbindung von Grössen ist Summe.

Indem nun also Objecte, welche in irgend einer bestimmten Beziehung gleich sind und gezählt werden, als Einheit der Zählung, die Anzahl derselben als eine benannte Zahl und die besondere Art der Einheiten, die sie zusammenfasst, als Benennung der Zahl bezeichnet werden, wird der Begriff der Gleichheit zweier Gruppen von benannten Zahlen gleicher Benennung durch dieselbe Anzahl festgestellt. Nennt man nun Objecte oder Attribute von Objecten, die mit ähnlichen verglichen den Unterschied des grösser, gleich oder kleiner zulassen, Grössen — worüber nur die empirische Kenntniss gewisser Seiten des physikalischen Ver-

haltens beim Zusammentreffen und Zusammenwirken mit anderen entscheiden kann — und können wir diese Grössen durch eine benannte Zahl ausdrücken, so nennen wir diese den Werth der Grösse und das Verfahren, durch welches wir die benannte Zahl finden, die Messung derselben. So messen wir eine Kraft entweder durch die Massen und Bewegungen des Systems, von welchem sie ausgeübt wird, oder bei der dynamischen Messung durch die Massen und die Bewegung des Systems, auf welches sie wirkt, oder endlich bei der statischen Methode der Kraftmessung dadurch, dass wir die Kraft mit bekannten Kräften ins Gleichgewicht bringen. Es bleibt somit nur die Frage zu beantworten, wann können wir Grössen durch benannte Zahlen ausdrücken, und was wird damit an thatsächlichem Wissen erreicht? Und zu diesem Zwecke stellt nun Helmholtz die für die Physik so interessanten und wichtigen Betrachtungen an über physische Gleichheit und über das Commutations- und Associationsgesetz physischer Verknüpfungen, wobei die Addition in etwas erweiterter Form als eine solche von Grössen gleicher Art definirt wird, deren Ergebniss sich nicht ändert durch Vertauschung der Glieder mit gleichen Grössen gleicher Art. So hält Helmholtz auch in der Arithmetik, oder in der transcendentalen Anschauung von der Zeit in Betreff der Axiome derselben Kant gegenüber den Standpunkt fest, den er in seinen Raumuntersuchungen vertreten.

Noch im Winter vor dem Uebergange in sein neues Amt gestaltete Helmholtz seine meteorologischen Untersuchungen, die ihn schon seit längerer Zeit beschäftigten, weiter zur Veröffentlichung aus, brachte dieselben jedoch nach Mittheilung einiger der gewonnenen Resultate, die er im Mai 1888 der Akademie vorlegte, wie wir sehen werden, erst im folgenden Jahre zu einem derartigen Abschluss, dass seine darauf bezüglichen Arbeiten von den Meteorologen als die mathematisch-physikalische Grundlage ihrer Wissenschaft bezeichnet werden konnten.

Schon seit mehr als zehn Jahren war das Helmholtz'sche Haus der Sammelpunkt der auserlesensten Geister der neuen Reichshauptstadt gewesen; hier fanden sich — nicht auf neutralem, sondern auf einem für alles Gute und Schöne empfänglichen Boden — die ernstesten Denker mit den genialsten Künstlern zusammen und befruchteten gegenseitig Verstand und Gemüth; die Schüler Moltke's und die Eingeweihten Bismarck's fanden Fühlung unter der olympischen Ruhe des grossen Naturforschers und an der Hand der ausgezeichneten Frau, welche hier ihre glänzende Gabe entfaltete, die verschiedensten Geister mit einander in Berührung zu bringen; äussere Stellung allein bedeutete wenig für sie, wenn nicht Vorzüge des Geistes oder vornehmer ästhetischer Gesinnung kenntlich waren.

„Ich habe mich mein Leben lang gegen ein niedriges Niveau von Umgang gewehrt, und wo es mir nicht octroyirt ward, es mir auch ferne gehalten. Gute Lebensformen und einen geistigen Inhalt, der nach irgend einer Richtung hin mir überlegen oder doch interessant ist, habe ich als erstes Erforderniss zum Verkehr stets empfunden. Hierin darf man nicht bescheiden sein, wenn man nicht in der Mittelsorte untergehen will.“

Die Uebersiedelung in die neue Präsidentenwohnung in Charlottenburg bot den geselligen Beziehungen einen „intimeren, vielleicht noch harmonischeren Rahmen, welchem der Takt für das historisch gewordene sein individuelles Gepräge aufdrückte und eine stimmungsvolle Eigenart verlieh“. Unter dem Walten der hohen Gaben geistiger Schöpfungskraft und künstlerischer Feinfühligkeit wirkten die Töne Joachim's berückend und verheissungsvoll, und die Bilder Lenbach's „wie ein Hauch der Nähe, der Unendlichkeit und des Bleibenden von allem Guten und Grossen.“

